

# Condições para a sustentabilidade da produção de carvão vegetal para fabricação de ferro-gusa no Brasil

Marcos Henrique Figueiredo Vital  
Marco Aurélio Cabral Pinto

<http://www.bndes.gov.br/bibliotecadigital>

## Condições para a sustentabilidade da produção de carvão vegetal para fabricação de ferro-gusa no Brasil

Marcos Henrique Figueiredo Vital  
Marco Aurélio Cabral Pinto\*

### Resumo

As indústrias que consomem biomassa florestal têm crescido a taxas expressivas nos últimos anos (celulose e papel, siderurgia a carvão vegetal, painéis de madeira para móveis e construções civis, madeira serrada, toras extraídas e exportadas *in natura*). Neste trabalho, analisou-se um dos vetores importantes do desmatamento no Brasil: a indústria independente de ferro-gusa à base de carvão vegetal. Esta apresenta-se como elo da indústria siderúrgica nacional que necessita de atenção do Estado brasileiro. O estudo apresenta a estrutura da indústria siderúrgica no Brasil, discute as possíveis rotas tecnológicas para produção de carvão vegetal para a siderurgia e seus impactos sobre a necessidade de área plantada para atender à demanda. Ademais, são explicitados os principais aspectos ambientais relacionados à atividade de produção de ferro-gusa a carvão vegetal. Por fim, após simu-

---

\*Respectivamente, economista e gerente do Departamento de Estudos e Políticas de Meio Ambiente da área de Meio Ambiente do BNDES. Colaboraram Marcio Macedo da Costa, Pedro Landim, P. S. Moreira da Fonseca, Elízio Damião, Cássia Félix, Luís Vitor, Mauro Almeida e Marcos Alecrim.

Figuras cedidas pelo prof. Patrick Rousset (3, 4, 6, 7, 8, 9, 10 e 11) e Bricarbras (5).

lações, sugerem-se pontos para o debate sobre políticas públicas integradas que permitam que a produção de carvão vegetal para fabricação de ferro-gusa ocorra de modo sustentável.

## Introdução

A competitividade do aço brasileiro depende, entre outros fatores, da produção em escala e a baixos custos de ferro-gusa. O ferro-gusa é uma liga de ferro-carbono utilizada como um insumo na produção de aço. Em usinas integradas (via altos-fornos), utiliza-se o coque como combustível e redutor para a sua produção. Outra forma de produção é por intermédio de fornos que utilizam o carvão vegetal como substituto funcional do carvão mineral (coque).

A sustentabilidade da produção de carvão vegetal para fabricação de ferro-gusa depende da reposição da madeira utilizada para a fabricação de carvão, oriunda tanto de florestas plantadas quanto de florestas nativas (tornando-se, por sua vez, um problema ambiental a ser superado). A possibilidade de se utilizar um insumo sem desembolso imediato (florestas tropicais, cerrados e outras madeiras oriundas de matas nativas) acaba por gerar vantagens competitivas insustentáveis ou ilusórias na cadeia produtiva do ferro-gusa, com base em carvão vegetal. Em países com baixa capacidade de regulação e de monitoramento da conformidade das cadeias produtivas e abundância de florestas, como o Brasil, a questão se agrava.

A energia solar utilizada pelos vegetais no processo de fotossíntese, que é armazenada neles sob a forma de energia química, pode ser posteriormente queimada sob a forma de lenha ou carvão vegetal, transformando-se em energia térmica. A utilização da madeira como insumo energético tem sido opção aproveitada no Brasil e em outros países que possuem estoques de florestas com potencial de utilização econômica.

A estrutura industrial brasileira conjugada ao modelo exportador – fortemente calcado em *commodities* agrícolas ou produtos intensivos em recursos naturais (por sua abundância relativa) – faz com que, em momentos de aquecimento da economia global (e também doméstica) e/ou de apreciações da taxa de câmbio (desvalorizações do real), aumente a venda desses produtos e, por conseguinte, a utilização de suas matérias-primas, incluindo a madeira. Assim sendo, deve-se observar o aumento projetado dos níveis de produção de bens à base de madeira, sob diferentes cenários de crescimento

econômico, para que se evitem danos futuros (e presentes) ao meio ambiente. Caso o País não inicie um imediato e sustentado projeto de florestamento e reflorestamento, a contenção do desmatamento de florestas tropicais pode ser fortemente comprometida.

Nesse sentido, a produção de carvão vegetal para fabricação de ferro-gusa afeta diretamente a demanda por madeira, contribuindo para o desmatamento e para a degradação de diferentes biomas brasileiros, em particular da Floresta Amazônica (no caso do extrativismo ao redor do polo de Carajás), além da Mata Atlântica (norte do Espírito Santo e sul da Bahia), do Pampa (Rio Grande do Sul), do Pantanal e do Cerrado em Minas Gerais, já bastante devastado.

Tal situação pode ser equacionada mediante o planejamento das condições necessárias para que florestas plantadas possam vir a atender idealmente à totalidade da demanda de madeira para a fabricação desse insumo. Vale ressaltar que esse planejamento deve ter em seu escopo o período mínimo de seis a sete anos – caso a espécie escolhida seja o *Eucalyptus spp.*

Os objetivos do presente estudo são:

- 1) expor de modo sucinto os aspectos econômicos relacionados à fabricação do ferro-gusa;
- 2) apresentar as tecnologias utilizadas para fabricação de carvão vegetal no Brasil e no mundo e seus impactos sobre a necessidade de área plantada para tanto;
- 3) apresentar os impactos ambientais mais relevantes relacionados à fabricação do carvão vegetal para fabricação do ferro-gusa; e, por fim,
- 4) discutir quais as condições, em termos de taxas de reflorestamento, que garantiriam que a produção de ferro-gusa se desenvolvesse em bases sustentáveis, sem degradação florestal.
- 5) propor políticas públicas que elevem a competitividade da cadeia siderúrgica e melhorem sua *performance* ambiental.

Para isso, dividiu-se o trabalho em cinco partes. Na primeira parte, “A indústria de ferro-gusa no Brasil: aspectos econômicos”, apresenta-se a organização da cadeia produtiva siderúrgica no Brasil, com ênfase nas atividades de extração de minério e na produção de ferro-gusa para subsequente produção do aço, assim como a distribuição geográfica das principais jazidas nacionais conhecidas. Apresenta-se, ainda, inventário das principais tecnologias empregadas em cada polo siderúrgico nacional.

Na segunda parte, “Rotas tecnológicas para a produção de carvão vegetal no Brasil”, apresentam-se as principais tecnologias utilizadas na produção de carvão vegetal no Brasil. Procurou-se colocar ênfase nos processos, rendimentos e produtos obteníveis da madeira a partir da pirólise<sup>1</sup> (carvão, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, líquido pirolenhoso, alcatrão e outros gases). Analisa-se, também, o estado da arte na produção de carvão vegetal e de outras formas de obtenção de energia a partir da madeira, no Brasil e na Europa.

Na terceira parte, “Condições socioambientais da indústria de carvão vegetal para produção de ferro-gusa no Brasil”, discutem-se os aspectos socioambientais da produção de carvão vegetal para ferro-gusa, desde a etapa silvicultural até a fabricação do carvão. Enfocam-se os seguintes temas: rendimento insumo/produto; dejetos sólidos, líquidos e gasosos; e o balanço de carbono.

Na quarta parte, “Sustentabilidade na produção de ferro-gusa a carvão vegetal no Brasil”, conceitua-se a sustentabilidade e discutem-se as condições para que a indústria de ferro-gusa a carvão vegetal no Brasil se desenvolva de forma sustentável. Apresenta-se modelo de simulação para a determinação da área plantada de florestas necessária para que se produzam efeitos de sustentabilidade sob diferentes cenários. Da mesma maneira, procura-se estudar o impacto de avanços tecnológicos (no carvoejamento e na silvicultura) nos requisitos de plantio.

Por fim, na quinta parte, “Sugestões para um programa coordenado público-privado para sustentabilidade socioambiental da cadeia produtiva siderúrgica no Brasil”, apresentam-se propostas de programa de políticas públicas voltadas ao setor e a síntese das principais conclusões.

## **A indústria de ferro-gusa a carvão vegetal no Brasil: aspectos econômicos**

A descoberta do fogo elevou a humanidade a uma nova condição, permitindo maior proteção e capacidade de resistência aos inimigos naturais externos. Durante séculos, a madeira queimada foi utilizada para a preparação de alimentos, para o aquecimento dos lares e para a metalurgia de armas.<sup>2</sup>

1 Piro, de *pira*, de fogo, e *lise*, de análise, separação do todo em partes. Pirólise é a separação de moléculas através do fogo.

2 Os chalibas, tribo hitita, da região onde hoje está localizada a Armênia, já usava o ferro encontrado em meteoritos para fabricação de espadas e armaduras [Mourão & Gentile (2007)].

Na segunda revolução industrial (em particular, no final do século XVIII),<sup>3</sup> com a invenção da máquina a vapor, a madeira teve seu uso bastante intensificado, permitindo a elevação da velocidade nas trocas (comércio) e no transporte de pessoas, além de induzir grande avanço na indústria têxtil inglesa.

Até 1972, a madeira era a principal fonte energética do Brasil, então suplantada pelo petróleo e, depois, em 1978, pela hidroeletricidade.

A curva de consumo de madeira é estimada como uma parábola, mostrando-se premência na elevação da oferta de madeira plantada, a fim de evitar a exaustão desse recurso renovável, sobretudo o de matas nativas. Nestas, além da extração da madeira, subtraem-se ainda biodiversidade, nutrientes do solo, nascente de rios, ninhos de animais e outros ativos/fatores de produção ambientais.<sup>4</sup>

Em 2006, o uso de carvão e madeira na matriz energética mundial era praticamente o mesmo que em 1973 (ao redor de 26%, contra 24,5% em 1973). Uma vez que é possível observar incremento em outras formas de energia, a participação da madeira na matriz energética tem se mantido em níveis expressivos (e em crescimento, em termos absolutos). O resultado disso, como pode ser visto em Vital (2009), tem sido a redução das florestas em todo o mundo (principalmente na África e na América Latina).

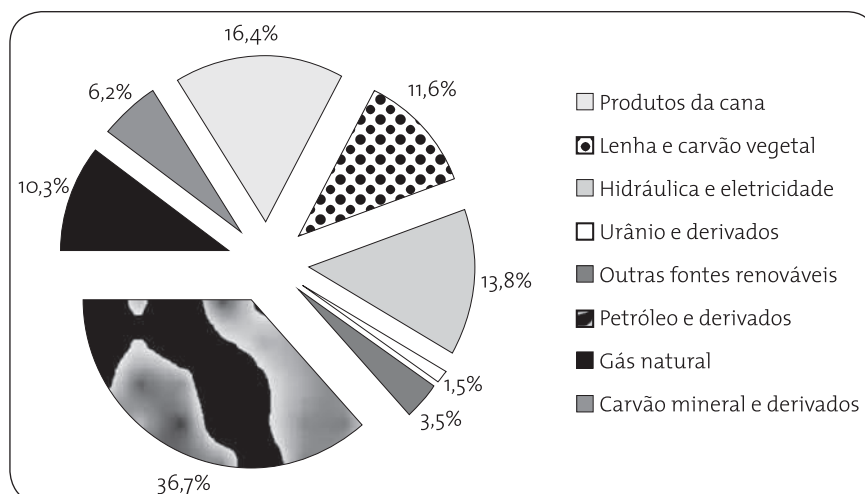
A matriz energética brasileira pode ser examinada no Gráfico 1, no qual a madeira aparece em quarto lugar, com participação de 12%.

Dos 92 milhões de toneladas de lenha “produzidas” (extrativismo vegetal e silvicultura) no País, em 2007, 39 milhões foram consumidos em carvoarias, enquanto outros 53 milhões, diretamente sob a forma de lenha. O uso energético da madeira no País é mostrado na Tabela 1.

3 Thomas Newcomen (1663-1729) foi um ferreiro e mecânico inglês e é considerado o pai da máquina a vapor.

4 O conceito de produtos e serviços ambientais é recente e diz respeito aos produtos obtíveis da natureza (atividades extrativistas) e de serviços prestados ao homem pela natureza (como suprimento de água de um rio, por exemplo). A economia do meio ambiente, conjunto de ferramentas neoclássicas aplicadas à análise de problemas ambientais, aponta a existência de um mercado para esses bens e serviços, extraídos e usufruídos gratuitamente, como principal forma de se corrigirem distorções que levam à degradação – por meio da internalização de custos.

Gráfico 1 | Oferta interna de energia, estrutura de participação das fontes – Brasil 2007



Fonte: MME (2009)

Quando se analisa a demanda por setores, vê-se que a indústria é a maior consumidora de biomassa no País, seguida do setor residencial, da agropecuária e do transporte.

Tabela 1 | Uso energético da madeira e do carvão vegetal no Brasil

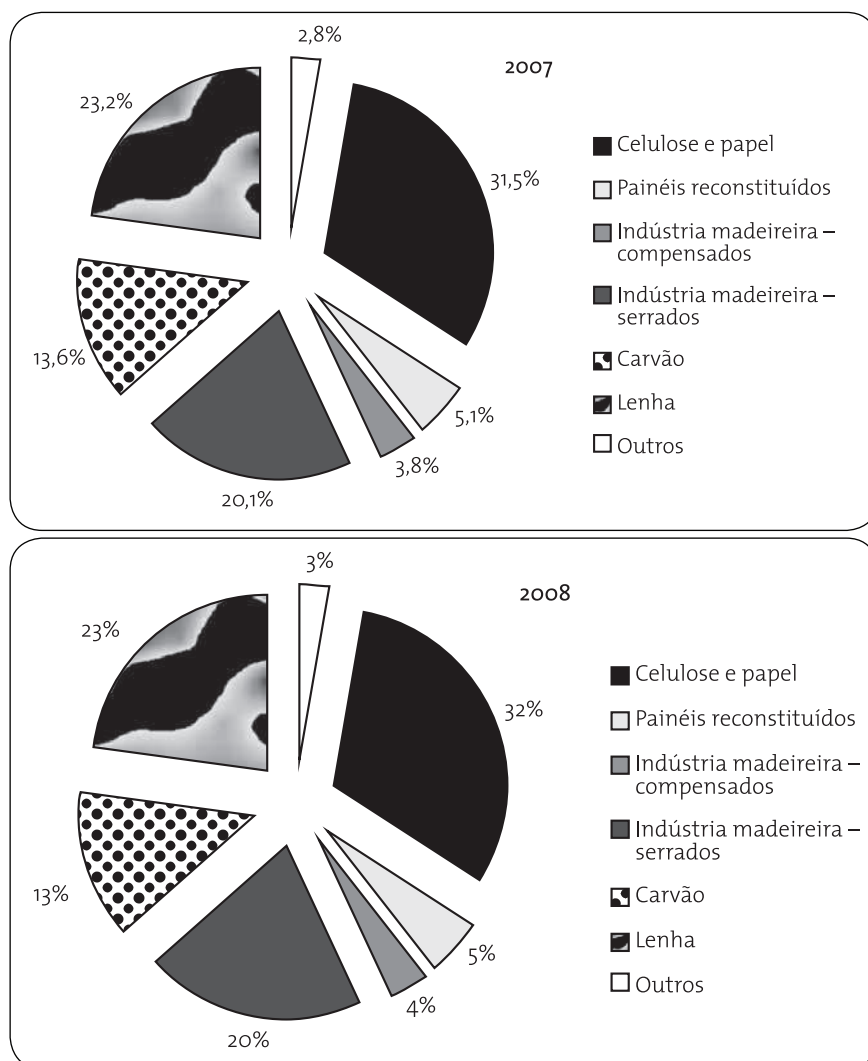
	Unidade	2006	2007	2008	%08/07
Produção de lenha	10 <sup>3</sup> t	91.922	92.317	94.341	2,2
Consumo em carvoarias	10 <sup>3</sup> t	38.307	39.153	39.386	0,6
Consumo final de lenha	10 <sup>3</sup> t	52.949	52.364	54.113	3,3

Fonte: MME (2009)

No setor industrial, destacam-se: as indústrias de celulose e papel (que consomem 100% de florestas plantadas de eucalipto e pinus); siderúrgicas a carvão vegetal (que consomem tanto madeira oriunda de eucalipto e pinus florestas plantadas quanto matas nativas, em proporções imprecisas) e de serrados de *pinus* (que consomem também suas próprias plantações no Paraná). A indústria de chapas de madeira consome ainda pequeno percentual do total de madeira plantada no País [Abraf (2008)].

Percebe-se que a única indústria afiliada da Abraf cuja madeira também procede de matas nativas é a siderúrgica, em particular as atividades responsáveis pela fabricação de carvão vegetal para ferro-gusa (86% do carvão vegetal produzido no Brasil tem como destino a produção de gusa), sendo contribuinte relevante para o desmatamento no País.

**Gráfico 2 | Distribuição da demanda de madeira de floresta plantada no Brasil**



Fonte: Abraf (2008)



## A indústria siderúrgica, seus processos produtivos e insumos

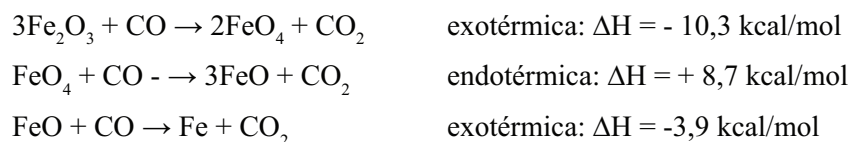
O contato do homem com o metal ferro, encontrado primeiramente em meteoritos,<sup>5</sup> permitiu nova era de proteção e armamentos. Posterior à Idade do Bronze, a Idade do Ferro (datada de aproximadamente 1000 a.C.) permitiu a expansão do império que primeiro conquistou a tecnologia de extração desse metal a partir das rochas – o Império Hitita, na Mesopotâmia [Mourão (2007)].<sup>6</sup>

Para a obtenção do aço são necessárias basicamente três matérias-primas: 1) minério de ferro; 2) coque<sup>7</sup> ou carvão vegetal; e 3) fundente.<sup>8</sup> O minério de ferro de maior emprego na siderurgia brasileira é a hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), sendo o Brasil um dos grandes produtores mundiais, possuindo minério de qualidade reconhecida pelo alto teor de ferro contido (cerca de 60%, enquanto, em outros países, o teor é de apenas 20%).<sup>9</sup>

### Caracterização dos processos: ferro-gusa e aço

O ferro-gusa é uma liga metálica resultante do processo de oxirredução<sup>10</sup> do minério de ferro, tendo como agente redutor o carbono.

A combustão da hematita<sup>11</sup> na presença do carbono (sob a forma de carvão vegetal ou coque) gera a seguinte reação química:



5 Por isso, muitas línguas referem-se ao ferro como o ‘metal que veio do céu’.

6 A metalurgia é o conjunto de tratamentos químicos e físicos a que são submetidos os minerais para extração dos metais.

7 De acordo com Takano (2007), o coque é mais denso e resistente do que o carvão vegetal, suportando maiores cargas de minério sem esfalar-se. Por outro lado, possui maiores impurezas.

8 Substância que reduz o calor latente do ferro, permitindo que ele se funda a menores temperaturas.

9 Na produção do aço, o minério de ferro, o coque e o fundente são colocados pelo topo, no alto-forno, enquanto na base é injetado ar quente para a fusão. A temperatura nos altos-fornos varia de 1000°C no topo a 1500°C na base. A combinação do carbono do coque com o oxigênio do minério libera o calor necessário para fundir o metal.

10 Oxidação é a perda de elétrons, enquanto a redução refere-se ao ganho de elétrons. Numa oxirredução sempre há perda e ganho simultâneo de elétrons. Vide também ‘ligações iônicas’ e ‘ligações covalentes’.

11 Os minérios de ferro podem ser hematíticos ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), magnetíticos ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), ilmeníticos ( $\text{FeTiO}_3$ ), limoníticos (óxido de ferro hidratado), sendo os hematíticos e magnetíticos os de maior importância.

No caso acima, os diferentes tipos de ferro-gusa são representados pelos compostos à direita ( $2\text{FeO}_4$ ,  $3\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}$ ). A primeira e a terceira reação liberam calor, enquanto a segunda absorve calor.

Geralmente nos processos industriais o ferro-gusa é simplesmente considerado liga de ferro e carbono, contendo de 4% a 4,5% de carbono e outros elementos ditos residuais como: silício, manganês, fósforo e enxofre – que aparecem como dejetos nocivos dessa etapa de produção, necessitando de tratamentos e cuidados ambientais.

A indústria siderúrgica<sup>12</sup> apresenta dois segmentos bastante distintos: **(i) produção de aços planos** (chapas, bobinas, folhas galvanizadas etc.), que tem como principais demandantes a indústria de bens de consumo duráveis; e **(ii) produção de aços longos** (vergalhões, fio máquina, perfis etc.) – que, por sua vez, tem como principal demandante a construção civil.

Basicamente, existem dois **processos de produção** de aço, caracterizados pelo emprego de diferentes fornos de refino: 1) o conversor oxigênio (LD – Linz-Donawitz-Verfahren converter, ou Blast Oxygen Furnace – BOF) para aços planos (25,2 milhões de toneladas, em 2008); e 2) os fornos de arco elétrico (Electric Arc Furnace – EAF) para fabricação de aços longos (7,9 milhões de toneladas, em 2008) [IBS (2009)].

O processo de refino do aço em conversores a oxigênio (processo LD ou BOF) tem como objetivo reduzir os teores de carbono do ferro-gusa, oriundo do alto-forno, e também de outros elementos (que se tornam resíduos do processo produtivo) como o **silício**, o **enxofre** e o **fósforo**.

O ferro-gusa, para a utilização nos fornos elétricos, pode ser de unidades integradas (nas quais a produtora de aço tem seu próprio fornecimento de gusa, a carvão vegetal, proveniente de florestas próprias) ou de unidades não integradas, cuja procedência do carvão vegetal utilizado é incerta.

O processo de produção do aço em forno elétrico (*EAF*) – pequenas unidades ou *mini-mills* – mais comumente usado para a produção de aços

12 A indústria de ferro-gusa se desenvolveu em Minas Gerais a partir do século XIX, pela proximidade das jazidas e pela disponibilidade das florestas para a produção do carvão. Em 1938, a Cia. Belgo-Mineira se instalou na região, produzindo de modo sustentável a partir de florestas plantadas, mas a indústria jamais deixou de usar matas nativas. Em 2009, 70% da cobertura vegetal de Minas Gerais havia sido degradada.

longos consiste na fusão de sucata de aço e do ferro-gusa (em geral proveniente de guseiras<sup>13</sup> a carvão vegetal).

O ferro-gusa das usinas não integradas, ou seja, dos produtores independentes,<sup>14</sup> possui dois caminhos alternativos: (i) a simples comercialização (mercado interno ou exportação) do gusa solidificado, na forma piramidal, que, com a sucata de ferro, alimenta os fornos de arco elétrico (EAF) visando à produção do aço longo; e (ii) a distribuição do gusa na forma líquida para utilização direta no processo (EAF).

Na Figura 1 apresenta-se de forma simplificada o fluxograma de produção de aços longos, tendo-se como insumo principal o ferro-gusa com base em carvão vegetal.

A etapa extrativista mineral é mais intensiva em capital e também causa diferentes impactos ambientais, sendo o minério, ademais, recurso não renovável por atividades antrópicas. Além disso, requer desmatamento de grandes áreas e, muitas vezes, criação de grandes morros esculpidos em forma de escadas, por escavadeiras, com impacto local significativo. Como quase toda atividade extrativa, a mineral também causa danos na região onde se localiza. O consumo de água nos processos é muito significativo. No mundo todo, 85% das atividades extrativistas minerais são feitas a céu aberto e 15%, em minas subterrâneas. No Brasil, a totalidade é a céu aberto.

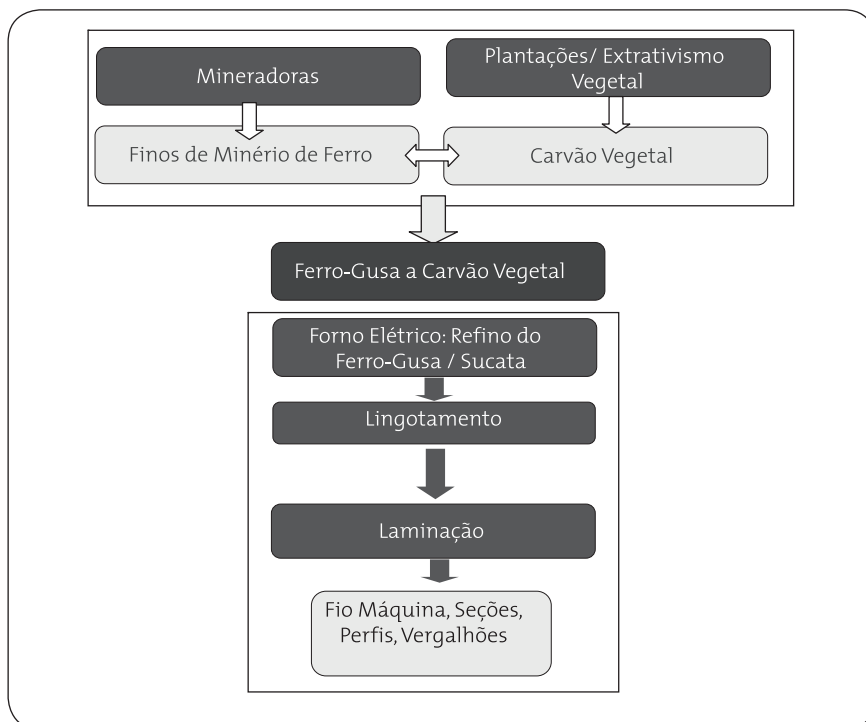
O extrativismo de matas nativas para a produção de carvão vegetal tem sido criticado por destruir a floresta sem posterior reposição. O extrativismo vegetal pode ainda comprometer a mobilidade de material genético necessária à preservação dos ecossistemas. O corte de matas nativas constitui-se, ao lado da emissão de CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, no principal problema ambiental na fabricação do carvão vegetal para ferro-gusa.

Vale notar que, em 2008, o setor siderúrgico detinha 1,7 milhão de hectares de florestas plantadas. A suficiência ou insuficiência dessas plantações é discutida adiante.

13 Como são denominadas as empresas produtoras de ferro-gusa.

14 De acordo com a nomenclatura do Instituto Brasileiro de Siderurgia – IBS.

Figura 1 | Cadeia produtiva do ferro-gusa no Brasil



Fonte: BNDES/DEINB/GESET

Para que a atividade silvicultural seja economicamente viável, aos atuais preços do gusa e do carvão, as carvoarias e as guseiras, por questões logísticas, devem manter-se próximas às florestas, geralmente em raios abaixo de 50 km. Entretanto, Minas Gerais tem importado madeira do Espírito Santo e da Bahia por até 400 km – induzindo à hipótese de desmatamento. Dessa maneira, torna-se economicamente inviável boa parte dos empreendimentos florestais com eucalipto com finalidade de venda de madeira para a produção do carvão vegetal.<sup>15</sup>

Empilhada no pátio da carvoaria, a madeira é introduzida em fornos, nos quais, por meio do carvoejamento ou da pirólise, obtêm-se carvão, água, gás carbônico, líquido pirolenhoso (um conjunto de gases condensados),

<sup>15</sup> Ainda que permaneça rentável para outras finalidades – a um dado vetor de preços dos produtos finais obtidos a partir da madeira, do carbono e da biodiversidade, inclusive.

entre outros subprodutos. *Grosso modo*, 1 tonelada de madeira gera entre 250 kg a 400 kg de carvão, dependendo da tecnologia utilizada, conforme discutido na segunda parte do presente trabalho, “Rotas tecnológicas para a produção de carvão vegetal no Brasil”.

#### *Carvoejamento/coque*

Carvoejamento é o processo de transformação da madeira em carvão (pirólise). Existem diferentes tecnologias para a produção de carvão vegetal, as quais se apoiam na queima da madeira para desumidificação e concentração dos teores de carbono no produto final, o carvão vegetal.

Outro agente redutor e combustível usado na produção de ferro-gusa em unidades integradas para a produção em larga escala de aços planos é o coque.<sup>16</sup> Este é obtido da destilação do carvão mineral (hulha ou carvão betuminoso), em processo denominado coqueificação.

Comparando-se a siderurgia a carvão mineral com a indústria a carvão vegetal, não fosse a última baseada no extrativismo, seria ecológica e ambientalmente mais correta, ou seja, menos poluente. Entretanto, as fábricas integradas com escala mínima de eficiência<sup>17</sup> elevadas são preparadas para operar apenas com o carvão mineral.

#### **Reservas minerais no Brasil**

As reservas de minério de ferro brasileiras estão assim distribuídas: Minas Gerais (72,2%), Pará (22,3%), Mato Grosso do Sul (4,3%), São Paulo (1,0%) e outros estados (0,2%).<sup>18</sup>

É explícita a concentração da produção de aço no Sudeste, e, em particular em Minas Gerais, oriunda da abundância de minério de ferro na região. Do mesmo modo, existem muitos fornos de baixa tecnologia produzindo carvão (muitas vezes com cerrado, como ocorreu no passado, e atualmente com madeira sem certificação originária da Bahia e do Espírito Santo) para atender à demanda dos guseiros independentes instalados na região.

<sup>16</sup> Produto de destilação de carvão mineral à temperatura de 1000 graus Celsius.

<sup>17</sup> Devido aos elevados custos fixos, certas empresas auferem lucro apenas se venderem uma elevada quantidade de produtos que dilua seu custo médio, ou seja, o custo total unitário:  $Cme = (CF + CV)/Q$ , em que CF é o custo fixo; CV, o custo variável; e Q, a quantidade de produto fabricada. Elevados níveis de custo fixo requerem elevadas quantidades produzidas, para que o quociente Cme atinja nível inferior ao preço do produto, tornando a atividade econômica minimamente rentável.

<sup>18</sup> Aos atuais níveis de produção, supondo taxa de crescimento zero, o Brasil teria minério para fabricar ferro-gusa por 452 anos.

Tabela 2 | Reservas de minério de ferro, por país – 2008

Reservas	Em bilhões de toneladas
CEI	78,0
Austrália	28,0
Canadá	26,0
EUA	25,0
Brasil	17,0
Índia	12,0
África do Sul	9,3
China	9,0
Suécia	4,6
Venezuela	3,3
Outros	15,5
Total mundo	227,7

Fonte: IISI (2006)

### A microeconomia do processo siderúrgico: tecnologia e estrutura de mercado

A tecnologia empregada na produção de ferro-gusa é de **proporções fixas**<sup>19</sup> entre os insumos, como em uma receita de bolo, gerando rigidez no processo produtivo (não substitubilidade das matérias-primas, ou seja, não se podem adicionar ovos sem se acrescentar, também, farinha e leite). Dessa forma, variações na produção do bem final geram variações diretamente proporcionais na demanda pelos insumos utilizados.

A existência de *sunk costs*<sup>20</sup> e a elevada escala mínima de eficiência requerida tanto na mineração, quanto nos altos-fornos, em comparação ao tamanho do mercado, levaram à constituição de uma indústria com elevado grau de concentração.

19 Em teoria microeconômica, as tecnologias podem ser “flexíveis”, em que um insumo pode substituir outro insumo em uma dada proporção variável denominada Taxa Técnica de Substituição; ou “rígidas”, em que os insumos precisam ser combinados em proporções exatas. Nas tecnologias de proporções fixas, para se obter mais de um mesmo produto, é necessário que todos os insumos aumentem numa dada proporção – como numa receita de bolo ou em produtos químicos farmacêuticos, por exemplo.

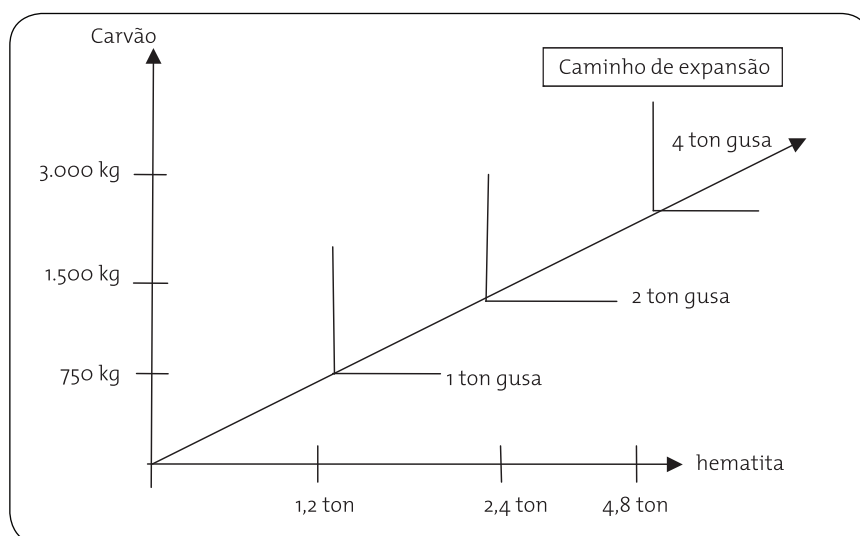
20 O termo *sunk costs* ou, literalmente, custos afundados refere-se àquele investimento mínimo em capital fixo que é necessário ser feito para o início das operações de uma dada atividade econômica e que não pode ser recuperado. Uma vez feito, caso haja embargo de produção ou falta de demanda, esse investimento já está ‘afundado’, não podendo mais ser reavido. Refere-se, pois, à irreversibilidade de certas decisões de investimentos.

*Tecnologia: isoquantas em proporções fixas*

Assim como certos elementos na natureza (ou industriais, como os fármacos), o ferro-gusa também se mistura em proporções fixas, em montantes exatos. A relação técnica entre a quantidade de carvão e a quantidade de minério de ferro necessárias para a produção de 1 tonelada de gusa é de 750 kg de carvão para 1,2 tonelada de minério, ou seja, a combinação de 1,2 tonelada de minério de ferro com 750 kg de carvão gera, em média, 1 tonelada de ferro-gusa.

Assim sendo, as tecnologias de produção de ferro-gusa são do tipo “proporções fixas”, com **isoquantas**<sup>21</sup> como as mostradas na Figura 2:

**Figura 2** | Isoquantas representando a tecnologia de proporções fixas na produção do ferro-gusa



Fonte: Elaboração própria

<sup>21</sup> Em economia, uma isoquanta é uma curva que representa várias combinações de fatores de produção (terra, capital e trabalho) que resultem na mesma quantidade de produção. No caso do gusa, os principais insumos são os minerais (hematíticos ou magnetíticos) e o carvão – por isso o gráfico bidimensional. Assim como numa receita de bolo, ou na junção do oxigênio com o hidrogênio na formação de uma molécula de água, as proporções entre cada insumo ou fator de produção devem ser mantidas. Não há, portanto, substitubilidade entre os fatores, e a taxa técnica de substituição só pode ser definida num ponto e é sempre a mesma.

As curvas mostram que expansões na produção de aço e ferro-gusa geram expansões, em dada proporção, na produção de carvão vegetal e, consequentemente, no consumo de madeira (plantada e/ou nativa).

*Produção e estrutura da indústria siderúrgica brasileira*

**Tabela 3** | Produção de ferro-gusa, por empresa e fabricantes independentes (em mil toneladas)

Empresa	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	% Taxa geométrica de crescimento
ArcelorMittal Aços Longos	971	1002	1090	1102	1104	1408	1380	6,03
ArcelorMittal Inox Brasil	536	589	641	628	702	689	645	3,13
ArcelorMittal Tubarão	5.024	4.790	4.971	4.843	5.094	5.992	6.638	4,75
CSN	4.961	5.211	5.372	4.969	3.345	5.114	4.852	-0,37
Gerdau	3.080	3.619	3.619	3.658	3.674	3.694	4.499	6,52
Usiminas/Cosipa	8.091	8.426	8.615	8.329	8.462	8.436	7.840	-0,52
V&M do Brasil	476	533	593	581	604	610	588	3,58
Fabricantes independentes	6.555	7.869	9.657	9.774	9.467	9.628	8.342	4,10
Total	29.694	32.039	34.558	33.884	32.452	35.571	34.784	2,671948

Fonte: IBS (2009)

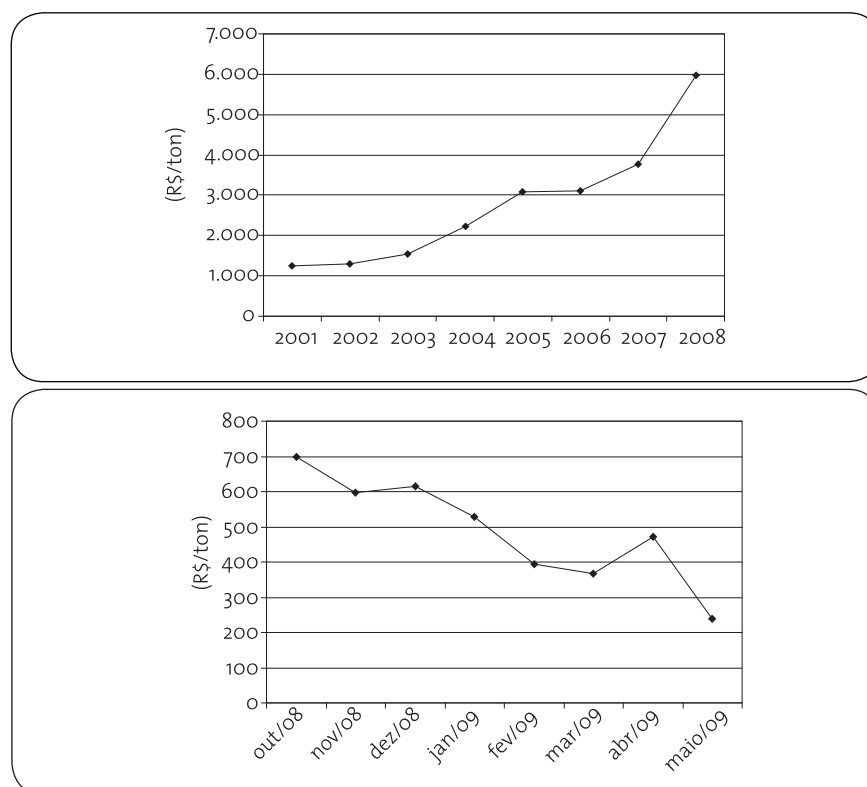
Como mostrado na Tabela 3, a produção brasileira de ferro-gusa é feita parcialmente por grandes produtores integrados (ArcelorMittal Aços Longos, ArcelorMittal Inox Brasil, ArcelorMittal Tubarão, Barra Mansa, CSN, Gerdau, Usiminas/Cosipa, V&M do Brasil, Villares Metais) – responsáveis pela produção de dois terços da produção nacional – e parcialmente por produtoras independentes (as já mencionadas guseiras) – responsáveis pelo um terço restante da produção.

Vale notar que ao redor de dois terços da produção dos guseiros (aproximadamente seis milhões de toneladas, em 2008) foram integralmente exportados.



O índice CR5<sup>22</sup> dessa indústria, em 2008, era 0,90, mostrando elevado grau de concentração, explicado pelas altas escalas mínimas de eficiência das aciarias. A exceção são as *mini-mills*, com capacidade de fabricar até 300 mil toneladas/ano utilizando 80% de sucata, gusa líquido e bastante energia elétrica.

Gráfico 3 | Preço do ferro-gusa antes e depois da crise (2008-2010)



Fonte: [http://www.steelonthenet.com/files/pig\\_iron.html](http://www.steelonthenet.com/files/pig_iron.html)

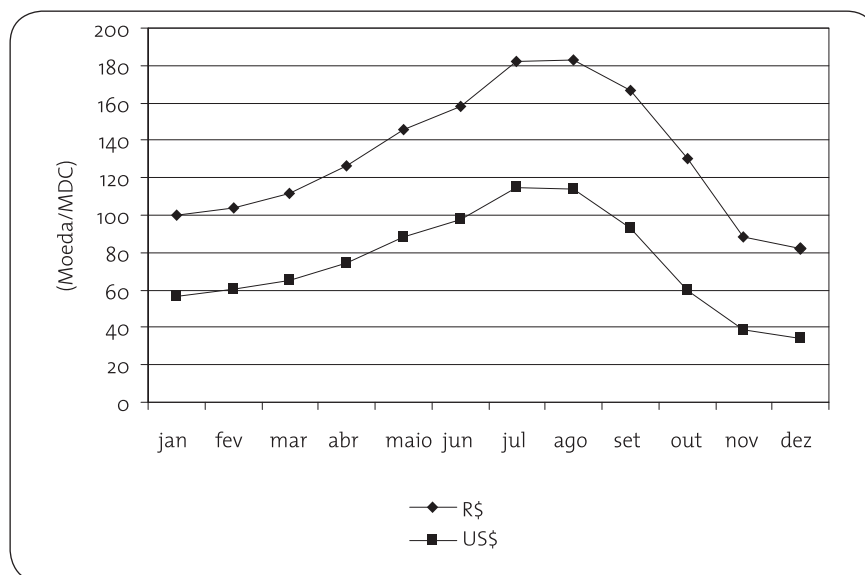
Em seu planejamento estratégico de 2008, revisto em abril de 2009, o BNDES previa que a capacidade produtiva da indústria siderúrgica nacional atingiria cerca de 60 milhões de toneladas/ano de aço em 2016, representando aumento de 46% em relação à capacidade atual, de cerca de 41 milhões de

22 Participação da produção das cinco maiores empresas na produção total da indústria.

toneladas/ano.<sup>23</sup> Se a proporção entre produtores independentes e produtores integrados for mantida, significaria expansão de 4,5 milhões de toneladas adicionais de ferro-gusa com base em carvão vegetal.<sup>24</sup>

Por fim, no tocante à microeconomia, mostra-se evolução histórica e recente (pós-crise) do preço do ferro-gusa.

**Gráfico 4 | Evolução recente do preço do carvão vegetal**



Fonte: Abraf (2009)

## O uso do carvão na produção de aço no Brasil

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, a proporção de carvão vegetal oriundo de floresta plantada em relação à quantidade de carvão oriunda do extrativismo tem se elevado. Entretanto, existem cálculos que demonstram que isso é incongruente com os níveis de produção de ferro-gusa e a quantidade de florestas plantadas com eucalipto que o setor possui para atender a tais níveis de produção.

<sup>23</sup> BNDES/AIB/DEINB/GESET (Gerência de estudos setoriais).

<sup>24</sup> Em recente trabalho, Teixeira *et alii* (2009) procuraram capturar o impacto da crise financeira sobre os investimentos do setor, concluindo por retração considerável (de R\$ 60,5 bi em agosto de 2008 para R\$ 24,5 bi em dezembro do mesmo ano).

As empresas integradas que utilizam o carvão mineral são: Usiminas/ Cosipa (MG), Gerdau/Açominas (MG), Tubarão (ES), CSN (RJ), que, juntas, produzem 23,2 milhões de toneladas (equivalentes a 65% da produção).

As empresas integradas que utilizam carvão vegetal são: Valourec & Mannesmann, a Unidade da Arcelor Inox Brasil (ex-Acesita), Barra Mansa (RJ), a Unidade da Vale (Carajás).

Os produtores independentes, que utilizam carvão vegetal de procedência nem sempre certificada, fabricaram 8,3 milhões de toneladas de ferro-gusa, em 2008, que, dadas as relações técnicas de produção, necessitariam de 6,2 milhões de toneladas de carvão ou algo entre 24,8 e 31 milhões de toneladas de madeira, somente em 2008.<sup>25</sup>

Vale notar que os produtores de aço à base de carvão mineral possuem uma tecnologia rígida que não lhes permite utilizar o carvão vegetal.

**Tabela 4 | Carvão mineral *versus* carvão vegetal na indústria siderúrgica brasileira**

		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
FERRO-GUSA	Produção (10 <sup>3</sup> t)	27.723	27.391	29.694	32.039	34.558	33.884	32.452	35.571
	Exportação (10 <sup>3</sup> t)	3.809	4.135	4.401	4.458	6.189	7.086	6.251	5.953
	Consumo Aparente (10 <sup>3</sup> t)	23.914	23.256	25.293	27.581	28.369	26.798	26.201	29.618
CARVÃO MINERAL	Consumo (Importado) (10 <sup>3</sup> t)	11.181	11.088	12.107	12.867	12.543	12.085	11.783	13.346
CARVÃO VEGETAL	Gusa por Fabricantes Independentes (103t)	-	-	6.555	7.869	9.657	9.774	9.467	9.628
	Consumo Aparente (10 <sup>3</sup> MDC)	17.900	17.105	17.027	16.986	17.430	19.189	17.936	18.389
	Carvão (103t)			4.916	5.901	7.242	7.330	7.100	7.221

Fonte: IBS/MDIC-Secex/Abraf

<sup>25</sup> Enquanto o IBGE afirma que, em 2006, foram produzidas cinco milhões de toneladas de madeira em tora no País, sendo 2,5 de florestas plantadas e 2,5 de matas nativas.

Os maiores produtores brasileiros de gusa para comercialização são: Ferroeste; Queiroz Galvão; Viena Siderúrgica; Cosipar; Sidepar; Fergumar; Ibérica do Pará; Ferro-gusa Carajás (Vale); Margusa (Gerdau); e Usimar.

### Polos guseiros no Brasil

De acordo com Ferreira (2006), o Brasil possui os seguintes polos guseiros predominantes: Quadrilátero Ferrífero (MG), Marabá (PA), Açailândia (MA), Vitória (ES) e Corumbá (MS).

Entretanto, em termos de volume produzido e representatividade, pode-se dizer que no Brasil existem duas grandes regiões produtoras de gusa para comercialização: a Região Sudeste (Minas Gerais, São Paulo, Rio de Janeiro e Espírito Santo) e a região dos Carajás, no Pará, cada uma com características distintas.

A Região Sudeste é centro de produção, com estimativa de 8,9 milhões de toneladas de capacidade produtiva [Sindifer (2009)]. A produção dessa região é dividida. São destinadas, aos mercados externo e interno, semelhantes porções. Cerca de 75% da produção consumida no mercado interno é destinada a atividades de produção de aço em *steel mills* (aciarias). Essa região fornece em média 86% do ferro-gusa consumido pelas *mini-mills* não integradas e 97% do consumo das fundições. O Quadrilátero, embora com grande atividade, é pulverizado e apresenta um crescimento anual reduzido de 0,8% ao ano [Ferreira (2006)].

A região de Carajás se diferencia da Região Sudeste principalmente por sua grande concentração da produção e por ser um polo extrativista e não propriamente siderúrgico. Com uma capacidade instalada de 4,7 milhões de toneladas, sua produção é totalmente destinada à exportação. Nos últimos 15 anos, apresentou uma expressiva taxa de crescimento, em torno de 15% ao ano. Ao redor das grandes mineradoras e principalmente nas cercanias de Marabá, criou-se – como em Minas Gerais –, pela possibilidade de madeiras “gratuitas”, uma série de empresas produtoras de gusa sem certificação florestal de seus produtos.

A atividade capitalista emerge naturalmente, em virtude do *animal spirits*,<sup>26</sup> no norte do País, tornando atrativo o nascimento de um polo gusei-

26 O economista J. M. Keynes atribuía à espécie humana a característica de se arriscar em novas empreitadas, necessárias ao movimento do sistema econômico. A essa característica deu o nome de *animal spirits*.

ro formado por empresas formalizadas e legalizadas, mas sem certificação florestal, e também por diversos outros agentes econômicos oportunistas. O papel atual dos órgãos de fomento é oferecer baixas taxas de juros para reflorestamento, induzindo à legalização de tais atividades, além de cobrar elevações na produtividade do carvoejamento e da silvicultura.

Recentemente, foi possível que a demanda de madeira se elevasse sem que houvesse qualquer variação real de preço (num período de dez anos). Dado que parte da oferta de madeira é oriunda de floresta plantada (que não cresceu a taxas proporcionais às do crescimento da demanda de produtos de madeira) e parte da oferta é oriunda de matas nativas, conclui-se que a elevação da oferta (que inibiu a alta de preços) adveio majoritariamente de extrativismo vegetal.

#### *Quadrilátero Ferrífero*

O Quadrilátero Ferrífero abrange os municípios de Ouro Preto, Santa Bárbara, Itabira, Mariana e Belo Horizonte, e é responsável por cerca de 60% da extração de minério de ferro; a região é considerada fundamental para o desempenho da balança comercial brasileira.

A produção é concentrada em Minas Gerais (11 milhões de toneladas), Rio de Janeiro (6,8 milhões de toneladas), São Paulo (6,7 milhões de toneladas), Espírito Santo (6,2 milhões de toneladas), sendo o restante distribuído entre Rio Grande do Sul, Bahia, Ceará, Paraná e Pernambuco.

Ao redor desses grandes produtores de aço criou-se uma rede de carvoejamento, em cidades em torno de Belo Horizonte, feito de modo arcaico em fornos denominados “rabos-quentes”, desmatando-se grande parte do cerrado mineiro.<sup>27</sup>

Atualmente, Minas Gerais importa madeira de outros estados (Bahia, Espírito Santo e Mato Grosso). A Polícia Federal tem feito apreensões sistemáticas de madeira sem certificação saindo dessas regiões em direção a Minas Gerais, ameaçando outros biomas (Mata Atlântica, Amazônia e o Pantanal).

Comumente na região há denúncias por ONGs de utilização de trabalho infantil. Isso porque os fornos são pequenos e as crianças têm mais facilidade para entrar e sair. Parece desnecessário apontar os danos, principalmente respiratórios, causados a essas crianças.

<sup>27</sup> Cerca de 70% da cobertura original já foi devastada tanto pelo desmatamento para carvão vegetal como pela expansão de fronteiras agropastoris.

Em Minas Gerais, o setor produz principalmente para exportação e para a indústria automotiva, sendo o setor de autopeças o principal comprador. Os setores ferroviário, de infraestrutura e de bens de capital são também compradores. Conforme se verifica, a área produtora de Sete Lagoas/Pedro Leopoldo é a de maior produção, seguida pela de Divinópolis/Itaúna.

### *Carajás*

#### *Marabá*

De acordo com Ferreira (2006), no estado do Pará, o polo produtor de gusa de mercado de Marabá (PMB) situa-se no município de mesmo nome, localizado próximo ao distrito mineiro de Carajás e contíguo à Estrada de Ferro Carajás (EFC) e à Hidrovia Araguaia-Tocantins (HAT).

Em 2009, 40% da produção de ferro-gusa à base de carvão vegetal já estava concentrada na região de Carajás. A Associação das Siderúrgicas de Carajás – Asica (2007) informou que o setor possuía apenas 110 mil hectares plantados na região, suficientes apenas para atender 10% da demanda. Parte substancial é atendida por resíduos de serrarias, o que não deixa de ser, em muitos casos, oriundo de matas nativas, na etapa a montante.

Em 2006, o Polo de Carajás contava com oito empresas produtoras e 19 fornos, além de oferecer oportunidades para novos projetos de implantação ou expansão. A abundância de madeira e minerais traz à região elevada vocação para atividade siderúrgica. A madeira, entretanto, deve ser tratada devidamente para que mudanças no uso do solo não contribuam para o efeito estufa.

A grande produtora é a Cia. Vale do Rio Doce, que utiliza carvão vegetal de florestas plantadas. Os altos-fornos da Vale são retangulares, e, entre os processos de produção de carvão vegetal, apresenta-se como a empresa mais ambientalmente correta e tecnologicamente avançada. Ao redor dessa empresa âncora acabaram por surgir outros pequenos produtores de gusa para exportação, cuja madeira não tem procedência certificada.

Ferreira (2006) afirma ainda que, no polo de Marabá, nenhuma unidade de produção é autossustentável em carvão vegetal.

O autor afirma que todas as unidades do polo de Marabá operam com carvão vegetal produzido a partir de reflorestamento (15%) e de manejo e resíduo de serraria e de agropecuária (85%). Nas mais antigas unidades

produtoras, como Viena, essa participação é maior. Em outras, o primeiro plantio ainda não atingiu o crescimento para corte, e, finalmente, existem ainda unidades de implantação recente em que o plantio não foi sequer iniciado. Acredita-se, de fato, que a maior parte da madeira seja mata nativa, produzindo-se carvão com tecnologia rudimentar do tipo ‘rabo-quente’.

**Tabela 5 | Produtores de ferro-gusa em Carajás – 2006**

Empresas	Fornos	Capacidade (mil t/mês)		%
		por Forno	por Empresa	
Cia. Siderúrgica do Pará	4	9.500	38.000	36,19
Siderúrgica Ibérica do Pará S.A.	2	10.000	20.000	19,05
Siderúrgica Marabá	2	9.000	18.000	17,14
Terra Norte Metais	2	5.500	11.000	10,48
Usimar	2	9.000	18.000	17,14
Total			105.000	100

Fonte: Asica (2007), Centro de Tecnologia Mineral (Cetem)

As unidades de produção do polo de Carajás encontram-se predominantemente voltadas para o mercado de exportação, pelo Porto de Itaqui.

#### Açailândia

No estado do Maranhão, o polo produtor de gusa de Açailândia situa-se em torno do município de mesmo nome, contíguo à Estrada de Ferro Carajás (EFC), à Ferrovia Norte-Sul (FNS) e à Hidrovia Araguaia-Tocantins (HAT). O polo conta com sete empresas produtoras e uma outra em fase de instalação, além de oferecer oportunidades para novos projetos de implantação ou expansão.

De acordo com Ferreira (2006):

...o complexo possui capacidade de produção da ordem de 148 mil t/mês, ou o equivalente a 1,8 milhão t/ano, o PAD se posiciona em 2º lugar entre os cinco polos produtores do país, participando com 10% do número de empresas, com 11% do número de fornos e com 17% da capacidade de produção nacional. Cabe ressaltar que o PAD apresenta capacidade média por forno equivalente a 1,4 vezes a média nacional e capacidade média por empresa correspondente a 1,7 vezes.

Todas as unidades de produção encontram-se orientadas para o mercado de exportação, através do Porto de Itaqui.

Tabela 6 | Produtores de ferro-gusa no polo do Maranhão – 2006

Empresas	Fornos	Capacidade (mil t/mês)		%
		por Forno	por Empresa	
Cia. Siderúrgica do Maranhão – Cosima	2	11.000	22.000	16,67
Siderúrgica Vale do Pindará	2	11.000	22.000	16,67
Ferro-Gusa do Maranhão Ltda. – Fergumar	2	9.000	18.000	13,64
Gusa Nordeste S.A.	2	9.000	18.000	13,64
Maranhão Gusa S.A. – Margusa	2	8.000	16.000	12,12
Siderúrgica do Maranhão – Simasa Vale do Pindará	2	8.000	36.000	27,27
Viena Siderúrgica do Maranhão	4			
Total*	16		132.000	100

Fonte: Cetem / Asica (2007)

\* Não incluiu Viena Siderúrgica do Maranhão

Na Cosipar, o rendimento carvão por tonelada de ferro-gusa é bem abaixo da média das grandes empresas integradas nacionais. A Cosipar, empresa representativa, produz média atual de 334 mil toneladas de ferro-gusa (não sendo tão pequenas quando comparadas às indústrias integradas a coque).

#### *O novo polo guseiro de Mato Grosso do Sul em Corumbá*

No estado do Mato Grosso do Sul, a região constituída pelos municípios de Corumbá e Ladário apresenta notável vocação metalúrgica. Há disponibilidade de recursos e reservas de minérios de ferro e de manganês, bem como facilidades de infraestrutura (atuais e previsíveis). Há transporte hidroviário e ferroviário, e energia (gás natural importado da Bolívia e energia elétrica, com geração local em termoeletricas a gás).

A recente crise econômica explica, majoritariamente, o cancelamento recente de unidades que seriam lá implantadas. Contudo, os projetos pareciam não demonstrar claramente a origem da madeira que seria utilizada na produção do gusa e não contou com o apoio do BNDES, que desempenha papel importante na indução de investimentos.



A região do Mato Grosso do Sul apresentou o maior crescimento em plantações de eucalipto entre 2006 e 2007, tanto pela fábrica de celulose como pela possibilidade de produção de carvão vegetal.

O poder público deve aumentar a fiscalização sobre o bioma Pantanal (para evitar o que ocorreu com o cerrado em Minas Gerais) e incentivar o plantio de eucalipto para a produção de carvão vegetal de empresas que já possuem tecnologias mais avançadas – entendendo que, pelo tamanho do bioma, o impacto relativo dos plantios será maior.

Corumbá possui duas empresas siderúrgicas e três altos-fornos.

### *Espírito Santo*

No estado do Espírito Santo, a Região da Grande Vitória – que compreende os municípios de Cariacica, Serra, Vila Velha, e Vitória – dispõe de boa logística de suprimento de minério e de destinação de produto para o mercado externo, constituindo-se, conseqüentemente, em importante polo brasileiro de produção de gusa.

O polo produtor de gusa de mercado da Grande Vitória conta com quatro empresas produtoras, com destaque para a Siderúrgica Tubarão, que produziu, à base de coque, em 2007, 5,9 milhões de toneladas, ou 16% do total brasileiro.

**Minério de ferro:** As unidades de produção do polo de Vitória são abastecidas com minério de ferro de alto teor e boas características metalúrgicas, oriundo do Quadrilátero Ferrífero.

**Redutor:** As unidades produtoras utilizam carvão vegetal de distintas procedências, prevalecendo as do norte do Espírito Santo e do sul da Bahia.

Tabela 7 | Produtoras de ferro-gusa no polo de Vitória – 2006

Empresas	Fornos	Capacidade (mil t/mês)		%
		por Forno	por Empresa	
CBF - Indústria de Gusa Ltda	4	8.000	32.000	58,72
Cia. Metalúrgica Espírito Santo	1	6.500	6.500	11,93

(Continua)

Tabela 7 | Produtoras de ferro-gusa no polo de Vitória – 2006

Empresas	Fornos	Capacidade (mil t/mês)		%
		por Forno	por Empresa	
Cia. Siderúrgica Santa Bárbara	1	8.000	8.000	14,68
Siderúrgica Ibirapu	1	8.000	8.000	14,68
Total*	7		54.500	100

Fonte: Asica (2007)/Cetem  
\* Exclui Siderúrgica Tubarão

## Rotas tecnológicas para a produção de carvão vegetal no Brasil

Da pirólise da madeira resultam dois tipos de produtos: 1) **sólidos** (carvão e finos<sup>28</sup>); e 2) **gasosos** (água, gás carbônico, monóxido de carbono e outros gases), que podem, ainda, ser condensados, formando outros subprodutos, denominados carboquímicos, tais como óleo pirolenhoso,<sup>29</sup> alcatrão,<sup>30</sup> metanol, guaiacol<sup>31</sup> etc.

### A produção de carvão vegetal: pirólise artesanal

O processo de pirólise artesanal é feito com o fogo entrando em contato direto com a lenha, como na Figura 3:

**Na pirólise artesanal**, o rendimento é muito baixo, cerca de 200 kg a 250 kg de carvão por tonelada de madeira com 20% a 30% de umidade.

No Brasil, a maioria dos fornos é dessa natureza (ao redor de 60% da produção nacional), sendo que os avanços tecnológicos são melhoramentos dessa tecnologia rudimentar.

28 Pequenas partículas de carvão que se formam pelo atrito entre os pedaços de carvão e a baixa resistência que ele possui.

29 Entre as aplicações do óleo pirolenhoso, ou líquido pirolenhoso, está o combate às formigas em plantações de parreiras.

30 O **alcatrão** é uma substância betuminosa, espessa, escura e de forte odor, que se obtém da destilação de certas matérias orgânicas, principalmente de carvão (*Wikipédia* 2009).

31 Guaiacol ou gaiacol é um composto orgânico de ocorrência natural com a fórmula  $C_6H_4(OH)(OCH_3)$ . Essa substância é oleosa, incolor e aromática.

Figura 3 | Pirólise artesanal



Fonte: Rousset (2007)

O produto final do processo de pirólise artesanal é somente o carvão com quantidade fixada de carbono ao redor de 60% a 80%, não sendo reaproveitados os gases liberados no processo ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$ , entre outros).

Nesse modo de produção, o trabalhador entra em contato direto com o gás carbônico emitido como dejetos. Em média, são lançados 640 kg de  $\text{CO}_2$  por tonelada de carvão produzida. Quando comparado a outros processos, o processo artesanal emite maior quantidade de gases de efeito estufa –  $\text{CO}_2$ , em particular.

De modo geral, a maioria dos polos guseiros do País, sobretudo os possivelmente ilegais (para minimizar seus *sunk costs* em casos de operações policiais), ainda se utiliza de tecnologia rudimentar.

### Combustão direta em fornos de alvenaria: uma adaptação brasileira

No Brasil, certas empresas, como a Plantar S.A. e a Biopirol, mantiveram a mesma metodologia de pirólise sob combustão direta, fabricando, entretanto, fornos de alvenaria com certos avanços tecnológicos. Tais fornos são mostrados na Figura 4.

Ainda que a solução não seja o estado da arte em produção de carvão vegetal, os fornos de alvenaria elevam a produtividade do processo (para até 34%, enquanto o processo artesanal aproveita, no máximo, apenas 25% da madeira).

**Figura 4 | Forno de alvenaria desenvolvido pela Plantar S.A.**



Fonte: Rousset (2007)

Ademais, a unidade de alvenaria emite menos  $\text{CO}_2$  como subproduto do processo de pirólise, preservando a qualidade do trabalho humano e também do ar atmosférico em tais regiões. Uma área de floresta, necessária para a produção sustentada de uma tonelada de ferro-gusa, capta, pela fotossíntese, mais de 19 toneladas de dióxido de carbono e libera mais de 16 toneladas de oxigênio.<sup>32</sup>

Tais fornos já possuem tecnologia de controle de emissões e reaproveitamento de gases, sendo mais corretos do ponto de vista tanto ambiental quanto trabalhista.

### **Carbonização de restos sem emissão de gases**

A empresa Bioware desenvolveu uma tecnologia que apresenta as seguintes inovações:

- 1) carbonização de pequenos fragmentos de madeira (entre 1 mm e 2 mm e entre 2 cm e 4 cm);
- 2) aproveitamento da fumaça;
- 3) recuperação de produtos líquidos e gasosos;
- 4) aproveitamento total da madeira na produção de carboquímicos.

---

<sup>32</sup> Informação obtida no sítio <http://www.plantar.com.br>

A empresa produz, ainda, bio-óleo.

Aparentemente, a tecnologia Bioware seria condizente com o número de serrarias e empresas madeireiras localizadas no arco do desmatamento, ao leste do Pará, onde sempre há uma sobra natural dos processos produtivos, constituindo-se numa oportunidade para a redução do desmatamento naquela região.

De fato, de acordo com Ferreira (2006), 85% dos guseiros independentes de Carajás utilizam restolhos de serrarias. Os restolhos de serrarias e madeireiras, anteriormente descartados, podem vir a se tornar insumo importante na produção de carvão e outros bioquímicos.

A empresa produz, ainda, briquetes (pequenos pedaços de serragem compactados), muito utilizados na Europa para o aquecimento dos lares. O fabricante afirma, ainda, que o rendimento do processo é maior e que recupera diversos subprodutos.

Para a indústria siderúrgica, a empresa pode vender tanto o carvão em pó (finos), utilizado na pelotização do minério de ferro, como o carvão compactado e os briquetes.<sup>33</sup>

Tal tecnologia casaria bem com os problemas ambientais do setor, mas possui pequena escala de produção. A criação de uma estrutura atomizada de fornecedores de carvão, por outro lado, levaria a preços menores e aumentaria a competitividade do gusa brasileiro no mercado internacional.

### **Economias de escala em fornos de carvão vegetal**

O equacionamento do desequilíbrio ambiental no Brasil depende das escalas elevadas para a produção de carvão vegetal.

A tecnologia Bricarbras constitui-se de oito fornos com cabine metálica, 24 cilindros metálicos (11 m<sup>3</sup> st de lenha), tempo de carbonização de nove horas, rendimento gravimétrico<sup>34</sup> de 36 a 40%, queimador de fumaça e secador de madeira (que representa uma inovação tecnológica importante).

33 Os briquetes são feitos de sobras do processo de carvoejamento. Como o carvão vegetal é frágil, surgem muitos finos e pequenas partículas. A aglomeração desses, com substâncias próprias, dá origem a pedaços mais densos de carvão, de menor tamanho e maior poder calorífico.

34 O rendimento gravimétrico é o quociente entre o peso do carvão seco obtido e o peso do material carbonizado (a 0% de umidade).

Figura 5 | Forno de carbonização da Bricarbras



Fonte: Bricarbras

A empresa possui, ainda, **incinerador de fumaça**, sendo emitida uma quantidade mínima de gases.

Tanto a produção de carvão vegetal em larga escala como a produção em baixa escala podem ser introduzidas no País. O que definirá a melhor tecnologia será a vocação das regiões onde o avanço do desmatamento é maior e oriundo da demanda por carvão vegetal para a fabricação de ferro-gusa. Em certos casos, a manutenção de fornos em pequena escala, porém com elevada eficiência ambiental, pode evitar também o desemprego de famílias que há anos trabalham utilizando tecnologias rudimentares para sua subsistência, incorporando o homem também como uma espécie a ser dignamente preservada.

### A experiência europeia: tecnologias ambientalmente mais corretas

Na Europa, são utilizadas algumas das rotas tecnológicas para a produção de carvão utilizadas no Brasil e outras mais avançadas. A proporção, entretanto, difere sobremaneira.

Os países europeus possuem metas de conversão de suas matrizes energéticas com percentuais mínimos de combustíveis renováveis. Isso tem gerado avanços tecnológicos na produção de carvão vegetal e outros combustíveis à base de madeira.

Apenas para fins de contraste, enquanto na França são produzidas 60 mil toneladas de carvão (a Europa como um todo produz 400 mil toneladas), exclusivamente para aquecimento residencial, o Brasil produz oito milhões

de toneladas de carvão, em sua maioria para alimentar fornos de gusa, sendo apenas parte de florestas plantadas e parte de florestas nativas (na proporção estimada de um terço de plantadas para dois terços de nativas – estimadas pelo setor).<sup>35</sup>

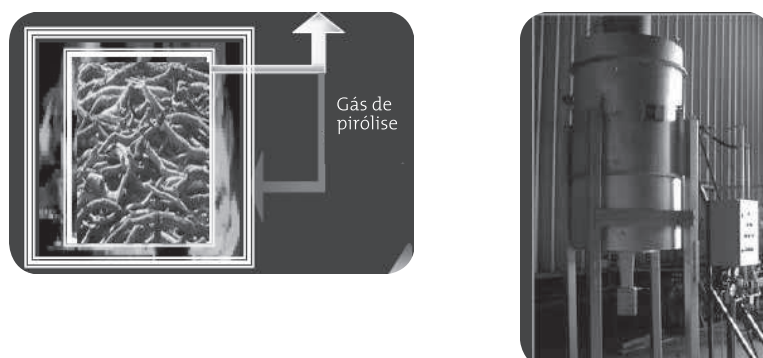
Não obstante, o número de carvoarias na França foi bastante reduzido, entre 1990 e 2000, passando de uma média de 80 para menos de 20, em consonância com a política global de exportar os projetos mais “sujeitos” para os países em desenvolvimento.

#### *Reator de combustão parcial*

Outro método de transformação da madeira em carvão também utilizado para fins industriais, sobretudo em países desenvolvidos, é a pirólise em que o fogo não entra em contato direto com a madeira.

O equipamento de combustão parcial utiliza 12 fornos, operando com 200 m<sup>3</sup> de madeira com ciclo de carbonização de 24 horas.

Figura 6 | Pirólise industrial e reator de combustão parcial



Fonte: Rousset (2007)

Em termos de **eficiência na relação insumo/produto**, por meio de pirólise de combustão, 15 mil toneladas de madeira (com menos de 20% de umidade) geram três mil toneladas de carvão vegetal (CF<sup>36</sup>>80%), ou seja,

<sup>35</sup> Segundo estudo do BNDES, de acordo com o IBGE, a proporção é justamente a inversa. Mas cálculos feitos em Vital (2009) mostram que isso é tecnicamente impossível com os atuais níveis de produção de gusa contrastados com a quantidade de florestas plantadas pelo setor.

<sup>36</sup> Carbono fixado.

a relação é de 5:1.<sup>37</sup> Essa relação é baixa, quando comparada aos fornos de alvenaria da Plantar e da V&M. Entretanto, possui vantagens no tocante à emissão de gases, reaproveitamento de energia e produção de subprodutos carboquímicos.

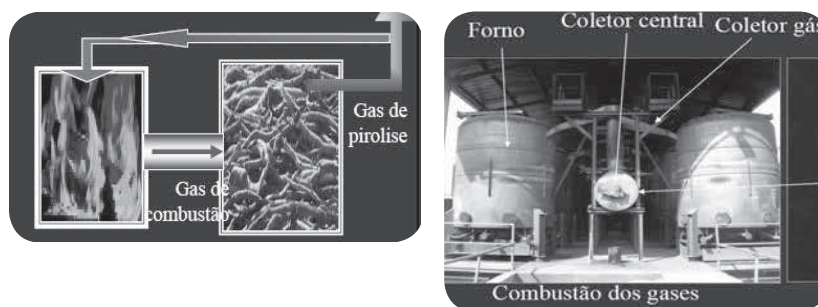
Ademais, produz 300 toneladas de finos e três megawatts de gases de pirólise aproveitados no processo – sendo, portanto, menores as emissões.

#### *Pirólise por gaseificação separada*

Outro modo tecnologicamente mais avançado e pouco utilizado na indústria siderúrgica nacional, via gaseificação, também é utilizado para fins industriais.

São os gases quentes oriundos da queima de algum material combustível que secam a madeira e a transformam em carvão. Nele, há reaproveitamento dos gases, reduzindo-se as emissões atmosféricas, como mostra a Figura 7.

Figura 7 | Pirólise via “gaseificação separada” com reaproveitamento de gases



Fonte: Rousset (2007)

#### *Reator de pirólise vibrante e fluidizado*

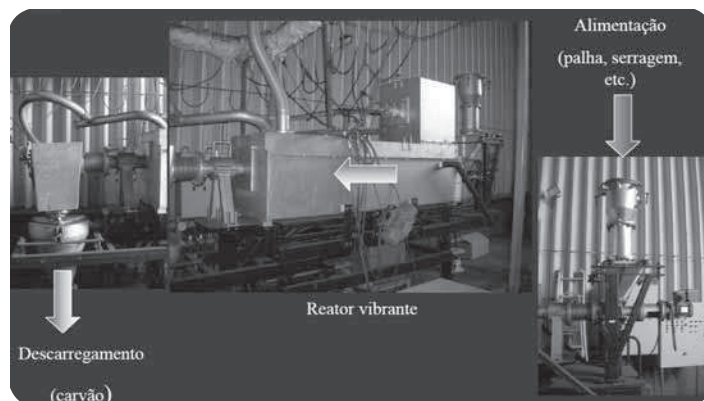
De acordo com os fabricantes, o reator com leito vibrante utiliza biomassa com baixo custo, oferece independência entre o tamanho da partícula e seu produto final, e é uma tecnologia eficiente na utilização de restolhos de

37 Note bem que nada, *a priori*, pode ser considerado melhor sem uma análise dos custos e benefícios ou das taxas internas de retorno sociais e privadas dos investimentos. O processo pode ser melhor do ponto de vista econômico, mas pior do ponto de vista ambiental. Naturalmente, com a conscientização e evolução das regras ambientais, os aspectos econômico e o ambiental já estarão contemplados na taxa de retorno e no cálculo dos futuros investimentos.



serrarias e, portanto, uma opção a ser pensada para a produção de carvão vegetal na Amazônia.

Figura 8 | Reator de pirólise vibrante e fluidizado



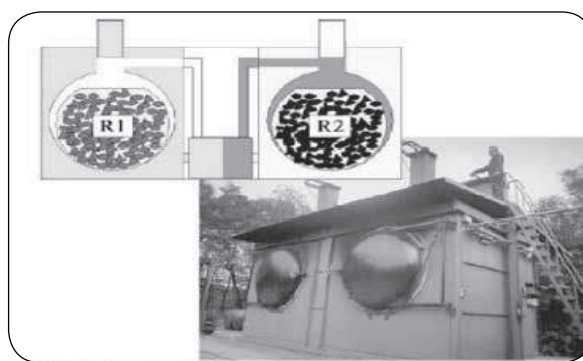
Fonte: Rousset (2007)

O calor é transportado numa corrente que segue em sentido contrário à da madeira, enquanto um pistão é utilizado para abastecer de biomassa.

#### *O processo francês*

O processo VMR, utilizado na França, é apresentado a seguir em conjunto com o próprio equipamento:

Figura 9 | O processo francês VMR



Fonte: Rousset (2007)

O forno é constituído de duas portas e um canal de combustão (que pode ser a diesel ou a gás). A pirólise, nesse caso, ocorre pelo contato com gases quentes. A tecnologia não é barata, custa ao redor €\$ 1,5 milhão por usina com capacidade anual de 2.500 a 20.000 t/ano<sup>38</sup>.

No processo VMR, o **rendimento** volumétrico é de 60% a 70%.

**Figura 10** | Tecnologia francesa VMR  
Abertura antes do resfriamento



Fonte: Rousset (2007)

No caso brasileiro, em que a maior parte das usinas de pior qualidade queima a mata nativa de cerrado, para a produção estimada de cinco milhões de toneladas de carvão para gusa, por ano, em Minas Gerais, a tecnologia francesa não parece, pela escala de produção, ser a ideal. Seria necessária a implantação de 250 projetos dessa natureza, somando a cifra de €\$ 375 milhões.

Entretanto, por também utilizar restolhos de serrarias, o processo VMR deve ser considerado uma alternativa à produção de carvão vegetal na Amazônia, onde a atividade madeireira já está instalada. Isso transformaria dejetos em insumo primário.

Por fim, o processo possui um sistema digitalizado de controle dos níveis de gases dentro das câmaras e de suas emissões, o que já permite monitoramento e futuros melhoramentos. O processo VMR utiliza o gás carbônico

<sup>38</sup> O processo VMR é constituído de duas retortas (R1 & R2) e uma câmara central para a combustão. O primeiro cilindro é carregado com madeira antes de ser colocado na retorta R1. Cada cilindro tem aproximadamente 4,5M3. O R1 é aquecido com combustível, seja gás ou diesel. Depois que a pirólise é iniciada, os gases são coletados e queimados na câmara para produzir calor para o segundo cilindro. A injeção de gás ou diesel é suspensa. Ao final, R1 é tirado para resfriamento e outro cilindro com madeira nova é reinstalado. VMR é um processo alternativo. O tempo total da carbonização é de 8-12 horas.

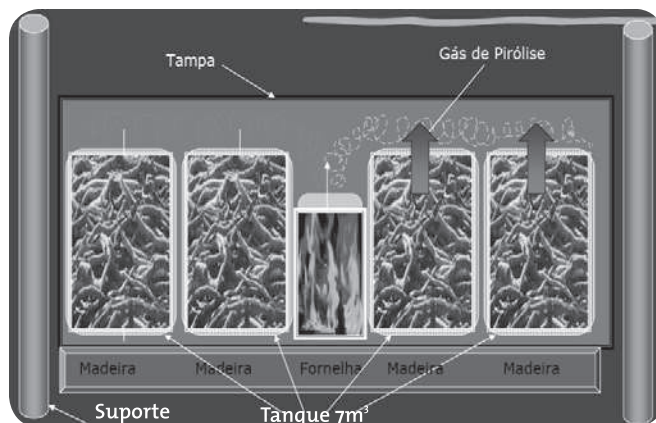
e o condensa com outros gases para a fabricação de alcatrão e de muitos outros produtos denominados carboquímicos.

#### *Os processos de gaseificação de Bach (Bélgica e França)*

A França e a Bélgica utilizam ainda o processo de carbonização de Bach, que, pela pequena escala de produção, também parece de pouco interesse ao caso brasileiro.

A carbonização de Bach pode gerar entre 2.500 e 20.000 toneladas de carvão por ano. Seriam necessárias 250 usinas para suprir toda a demanda brasileira.

Figura 11 | Processo belga de Bach



Fonte: Rousset (2007)

Os processos belga e francês são o estado da arte na produção de carvão vegetal na Europa. Naturalmente, as tecnologias ambientalmente mais corretas são também mais caras, reduzindo o excedente do consumidor final.

#### **Produção de carvão vegetal no Brasil**

De modo geral, o custo de produção do carvão é constituído 80% de matérias-primas e mão de obra, dependendo do processo.

Tabela 8 | Participação dos fatores no custo total de produção do carvão vegetal no Brasil

	Percentual do Custo Total de Produção do Carvão Vegetal				
	Matéria-Prima	Mão de Obra	Outros Custos Correntes	Depreciação	Encargos Financeiros
Produção de CV de floresta plantada no Brasil	70%	8%	16%	2%	4%
Produção de CV extrativista	31%	44%	6%	6%	13%
Processo de produção contínuo (3.000 t)	55%	9%	13%	12%	11%

Fonte: Rousset (2007)

No caso do carvão vegetal à base de florestas plantadas, no Brasil, 70% dos custos referem-se a matérias-primas e 10% são relativos a custos de mão de obra. Na produção brasileira convencional, apenas 30% são relativos a matérias-primas (custo de extrativismo), e 50% são relativos à mão de obra necessária para a retirada das árvores.

A mecanização do processo de silvicultura, por um lado, aumentará o desemprego ao redor das áreas de Carajás e do Quadrilátero Ferrífero, elevando, entretanto, de modo substancial a produtividade do carvão oriundo das matas nativas e os benefícios ao meio ambiente. Novamente, aparece o *trade-off* entre crescimento e preservação ambiental.

Há que se fazer uma análise mais profunda dos custos e benefícios socioambientais dos três casos, pois são os de maior interesse para a indústria siderúrgica e para o meio ambiente florestal brasileiro: manejo sustentável, extrativismo predatório ou eucaliptocultura?

Ademais, o rápido crescimento de eucalipto e de sua produtividade e a abundância de florestas tropicais manejáveis podem melhorar bastante as condições de emissões de CO<sub>2</sub> se o carvão mineral pudesse ser substituído pelo vegetal.

A diferença de rendimentos e resíduos no processo produtivo é bastante significativa, como ilustra a Figura 12.

Figura 12 | Diferentes tecnologias para a produção de carvão vegetal

		Forno Rabo-quente	Forno Circular	Forno Retangular V&M	Forno Vertical Contínuo	DPC-Modificado
<b>Capacidade</b> (t/mês.forno)		5	8	42	450	57
<b>UPC</b>	fornos	100	250	40	1	30
	(t/mês.UPC)	469	1875	1688	450	1710
<b>Investimento</b> (R\$/t.ano instalada)		14	22	237	648	250
<b>Rendimento carvão</b> (tCV/tmadeira)		25%	25% - 39%	30% - 37%	35% - 40%	35% - 40%
<b>Biocarboquímicos</b> (kg/tCV)		Muito Baixa*	Baixa*	70 - 120	250	250
<b>Participação da produção</b> (no total do Brasil)		> 60%	~20%	> 10%	0%	0%
* Recuperação						

Fonte: Carazza (2009)

Merecem comentários os seguintes pontos:

- 5) Sessenta por cento da produção de carvão no País é feita por meio da tecnologia mais rudimentar existente, com rendimento de apenas 20%-25% da madeira, e com baixa recuperação de resíduos.
- 6) Os fornos de mais alta tecnologia possuem maior rendimento (25% a 39%), como os das Plantar e da V&M, mas são responsáveis por apenas 20% da produção.
- 7) Os fornos retangulares, responsáveis por menos de 10% da produção nacional, possuem rendimento entre 30% e 37%, elevada produção de carboquímicos e eficientes controles de emissões de gases (que necessitam ser condensados para a fabricação dos carboquímicos).
- 8) Por último, mas de forma alguma menos importante, é o rendimento na produção de carvão vegetal que determina, em última instância, a quantidade de madeira necessária para fabricá-lo e, consequentemente, a área plantada. Tão maior o rendimento no processo de pirólise, menor a área plantada necessária para sua fabricação.

9) Por fim, o preço do carvão vegetal é explicitado a seguir:

É perceptível como o preço do carvão vegetal acompanha o preço do ferro-gusa. Mais barato o carvão, menor a necessidade de desmatamento. Mais caro o carvão (ou a taxa de câmbio – que define o preço do coque importado), maiores as necessidades de desmatamento.

### **Condições socioambientais da indústria de carvão vegetal para produção de ferro-gusa no Brasil**

Os principais impactos ambientais relacionados à produção de carvão vegetal para a fabricação de ferro-gusa estão ligados a três fatores principais:

- atividades de extrativismo<sup>39</sup> mineral e vegetal em grande escala;<sup>40</sup>
- silvicultura com espécies exóticas;<sup>41</sup>
- pirólise ou carvoejamento.

Existem ainda impactos a jusante na cadeia produtiva, relacionados à produção do ferro-gusa e do aço, que, apesar de serem mais nocivos do ponto de vista ambiental, fogem ao escopo deste trabalho.<sup>42</sup>

#### **Atividades extrativistas: etapa agrícola**

O extrativismo vegetal predatório (sem reposição do recurso renovável), seja em regiões de cerrado, seja na Região Amazônica, constitui dano e crime ambiental. Além de retirar as árvores (muitas vezes sem discriminação de espécies), essa prática afasta os animais, tirando-os de seus *habitat* naturais, matando filhotes e destruindo ovos ou ninhos daqueles que não conseguem fugir do desmatamento.

39 Vale notar que, na cadeia a montante, está o processo de extrativismo mineral, que também causa impactos ambientais de grande relevância. No caso da mineração apontam-se, em especial: paisagem, erosão, poluição sonora, mas, sobretudo, dejetos do processo de separação do minério: secagem, calcinação (fundentes, fluxantes) etc.

40 O extrativismo vegetal exporta nutrientes, carbono, água, biodiversidade e oportunidades científicas, além de outras externalidades ainda desconhecidas (do tipo “efeito borboleta”) ou mais conhecidas (como processos de desertificação e chuvas ácidas, alterações de microclimas etc.).

41 A atividade silvicultural com espécies exóticas também causa impactos ambientais que podem ser positivos ou negativos, dependendo da região de implantação das florestas e das condições prévias do terreno. Consumo de água, exportação de nutrientes do solo, biodiversidade e os impactos da atividade fotossintética das florestas em crescimento são as principais variáveis ambientais afetadas.

42 A fundição do minério em ligas de carbono ou ferro-gusa consome energia, sob a forma de combustão do carvão, e libera diversos resíduos, oriundos tanto das impurezas do minério de ferro (que contém outros metais) quanto dos fundentes e fluxantes, substâncias que facilitam a separação dessas “impurezas”. Já o processo de tratamento do ferro-gusa em aço resulta em escórias, dejetos metálicos nocivos e enxofre. No caso das aciarias elétricas a arco há, ainda, elevado consumo de energia e sucatas.

A floresta madura respira o mesmo tanto que transpira, sendo seu balanço de carbono praticamente neutro. Entretanto, enquanto a floresta está de pé, o carbono está ali fixado em seu fuste (caule ou tronco), nos galhos e nas folhas das árvores. Depois de derrubada a árvore, o carbono é transformado em carvão, outrora estocado, e acaba – no processo industrial de pirólise – sendo emitido de volta para a atmosfera (sob a forma de  $\text{CO}_2$ ).

Vale lembrar que, em 2003, no mundo como um todo, enquanto os combustíveis fósseis emitiam 5,5 bilhões de toneladas de carbono, as mudanças no uso do solo foram responsáveis por 13 bilhões de toneladas dessa substância.

Dessa forma, do ponto de vista do balanço de carbono, ainda que a floresta nativa seja um recurso renovável, sua extração devolve o carbono por ela retirado da atmosfera, sendo necessário o replantio, para o equilíbrio no balanço de carbono, a fim de que novas árvores, em crescimento, possam retirar o  $\text{CO}_2$ .

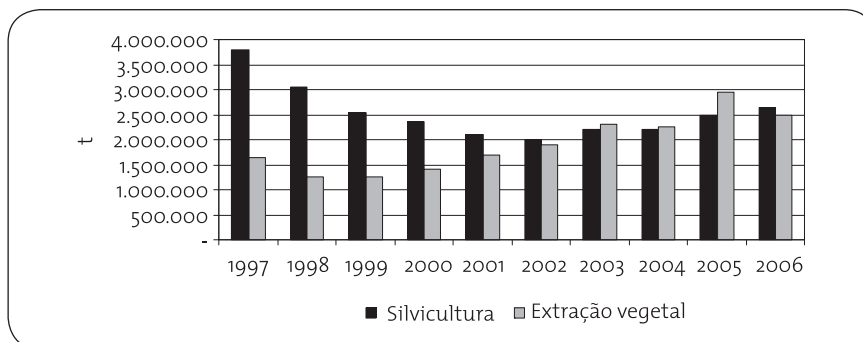
O extrativismo no Brasil – seja para a produção de carvão, seja para a pecuária – desmatou mais de 70% do cerrado em Minas Gerais e parcela substancial da Amazônia. Da Mata Atlântica, sobraram reles 3,7%.

A condição *ex ante* para a sustentabilidade na produção de carvão vegetal para a indústria de ferro-gusa é que todo ele seja oriundo de florestas plantadas, evitando o desmatamento da mata nativa ou que, em caso de carvão oriundo de mata nativa, seja feito um **manejo sustentável** da floresta ou sua **reposição integral**.

De acordo com o Gráfico 5, a produção de carvão vegetal à base de floresta nativa (extração vegetal) vem superando a produção a partir de florestas plantadas.

Já de acordo com Instituto Nacional Eficiência Energética – INEE e em consonância com os cálculos do presente estudo, mais da metade do carvão vegetal produzido para os gaseiros é oriunda de matas nativas de modo predatório (na relação dois terços de matas nativas para um terço de floresta plantada) – contradizendo os dados do Gráfico 5 [INEE (2006)]. O Ministério do Meio Ambiente – MMA vai além e afirma que 85% do carvão vegetal brasileiro é oriundo de matas nativas.

**Gráfico 5 | Produção de carvão vegetal: silvicultura x extrativismo (em toneladas)**



Fonte: IBGE

A discrepância, entretanto, é compreensível, pois o IBGE apura atividades legalmente cadastradas, não captando, assim, em suas estatísticas, o extrativismo ilegal predatório.

As curvas de desmatamento e de exportações de ferro-gusa estão fortemente correlacionadas. Existem dados (Inpe e Asica) que, quando cruzados, mostram explícita correlação entre as exportações de ferro-gusa e o aumento do desmatamento. Todo estatístico sabe, porém, que correlação e causação são coisas distintas, e, portanto, fica a ressalva, uma vez que a exploração predatória para produção de carvão vegetal não é o único vetor responsável pelo desmatamento da Amazônia. Outras atividades, como a pecuária extensiva, mineração, serrarias e produtos de madeira, extração de madeiras nobres, queimadas etc., também respondem pelo extrativismo predatório.

O resultado do elevado nível de exploração predatória do cerrado é a elevação da importação de carvão vegetal da Bahia e do Espírito Santo. De acordo com o INEE, isso tem gerado grandes pressões sobre outros biomas. Não é incomum encontrar reportagens em jornais de circulação nacional relatando a apreensão, pela Polícia Federal, de madeira ilegal.<sup>43</sup>

43 [http://www2.camara.gov.br/comissoes/cmads/not\\_principal/mega-operacao-do-ibama-desvendatrilha-do-carvao](http://www2.camara.gov.br/comissoes/cmads/not_principal/mega-operacao-do-ibama-desvendatrilha-do-carvao)



## Silvicultura de eucalipto

No Brasil, as condições climáticas e geológicas permitiram elevada produtividade das florestas plantadas com eucalipto, sendo esse o fator-chave de competitividade da indústria nacional de celulose e papel. O incremento médio anual de uma floresta de eucalipto no Brasil é, em média, de 38 m<sup>3</sup>/ha/ano. No entanto, as empresas de celulose, que investem em clonagens e outras formas de engenharia genética, alcançam, em regiões como o sul da Bahia, produtividade de até 60 a 75 m<sup>3</sup>/hectare/ano [BNDES/AIB/DEPACEL/GESET].

Biólogos e geólogos não chegaram a um consenso quanto ao fato de a floresta plantada ser a melhor opção para obtenção de biomassa para a produção de carvão vegetal, em vez do extrativismo de mata nativa, feito de modo sustentável, adequadamente manejado. Certo é que o custo de se plantar uma única espécie (monocultura), que no caso do eucalipto é de cerca de R\$ 2.000-R\$ 3.000/ha,<sup>44</sup> é menor que o custo de se regenerar toda uma complexa flora e fauna como a amazônica.

Naturalmente, para a perpetuidade da madeira como insumo para o carvão, é necessário que sua retirada seja feita *pari passu* com o crescimento da floresta. Assim, apenas o adicional de floresta – o incremento – é retirado, permitindo que, no ano seguinte, após o crescimento natural da floresta, mais madeira possa ser retirada sem que a área total diminua. A isso os economistas florestais chamam “capacidade sustentável de produção da floresta”. A capacidade sustentada de produção de madeira oriunda de floresta plantada no Brasil, em 2008, era de 191 milhões de m<sup>3</sup> de madeira/ano.

Isso não significa que os impactos ambientais da silvicultura e, em particular, da silvicultura com eucalipto sejam desprezíveis ou inexistentes. Ao contrário, os impactos ambientais de florestas de eucalipto podem ser diversos, positivos ou negativos, dependendo das condições iniciais do sítio em questão, sendo bastante controversos na mídia, mas muito coerentes dentro da literatura acadêmica, como descrito em Vital (2007).

De acordo com o Sindifer, a indústria de ferro-gusa possuía, em 2008, 1,7 milhão de hectares plantados com eucaliptos. Como dito, a suficiência ou insuficiência dessa base florestal será discutida na quarta parte, “Sustentabilidade na produção de ferro-gusa a carvão vegetal no Brasil”.

---

44 Ver Vital (2009).

Há que se observar, *ex ante*, a situação hídrica e edáfica (relativa ao solo) do local em que a floresta será implantada, bem como as condições de biodiversidade do bioma em questão e as condições sociais. Em particular, vale notar se a atividade silvicultural não será feita a partir de grande quantidade de aquisições de terras de pequenos camponeses, acarretando êxodo rural na região.

De forma geral, estudam-se os efeitos das plantações de eucalipto sob quatro principais variáveis: **1)** as condições hídricas; **2)** as condições edáficas; **3)** as condições atmosféricas; e **4)** a biodiversidade.

#### *O eucalipto e a água*

Ao contrário do que parece ser senso comum entre a população (fomentado por ONGs internacionais), o eucalipto não consome mais água que outros cultivos nacionais, tampouco mais água que a própria Mata Atlântica ou a Floresta Amazônica, podendo sobreviver em regiões com até 400 mm de chuvas por ano, ou seja, regiões semiáridas.

O eucalipto é capaz de sobreviver em quase todas as regiões brasileiras; entretanto, o sul da Bahia e o norte do Espírito Santo são as mais produtivas (pelo desenvolvimento de clones próprios para aquelas condições edafo-climáticas). Ele pode sobreviver em regiões com densidade pluviométrica de 400 mm a 1.200 mm, sendo 800 mm a 1.200 mm o volume de água necessário para os plantios mais produtivos.

No entanto, há que se observar, de antemão, a profundidade dos lençóis freáticos envolvidos. As raízes do eucalipto atingem até 2,5 m de profundidade, não alcançando lençóis profundos, mas podendo alcançar os lençóis freáticos de baixa profundidade. Estudos apontam que o eucalipto pode sugar água a até seis metros de profundidade.

#### *O eucalipto e o solo*

A forma de manejo da floresta é fundamental no tocante à manutenção dos nutrientes (fósforo, potássio, cálcio e nitrogênio) no solo. Deixar cascas, folhas e galhos e raízes no local na hora da colheita pode devolver, em média, até 30% dos nutrientes utilizados pela planta.

Entretanto, por questões de autossuficiência energética, certas empresas têm utilizado essa forma de biomassa para queima e cogeração de energia. Há que se responder às questões: O que vale mais: 100 kw de potência elétrica ou 10 kg de nitrogênio mantidos no solo?

A princípio, as empresas têm preferido utilizar esses restos de biomassa para queima, um sinal de que suas “preferências reveladas” são por economizar energia e gastar recursos para a compra de fertilizantes, induzindo à hipótese de que a energia ainda é precificada mais cara que os nutrientes do solo.

### *O eucalipto e a biodiversidade*

Comparado a outras culturas, o eucalipto possui maior biodiversidade de flora e fauna. Diversos estudos apontam a presença de diferentes tipos de gramíneas e outras espécies vegetais, além de pássaros de diferentes espécies e insetos.

Naturalmente, por seu caráter de monocultivo, a biodiversidade de uma floresta de eucalipto, homogênea, jamais pode ser comparada à biodiversidade dos biomas naturais brasileiros. Entretanto, no que tange à avaliação de impactos ambientais de uma monocultura e às decisões de governo, é necessário que se compare a floresta de eucalipto a outras culturas nacionais, como a cana-de-açúcar, a soja, o milho, o feijão etc. A superioridade da floresta de eucalipto em termos de eficiência no uso de água, nutrientes e da biodiversidade em relação a essas culturas é inequivocamente maior.

A forma de implantação da floresta, com a utilização de corredores biológicos e cultivo em mosaico, auxilia bastante na mobilidade de material genético entre os fragmentos de florestas plantadas e os fragmentos de matas nativas.

### *O eucalipto e o ar*

Ao sequestrar carbono para produzir energia no processo de fotossíntese, o eucalipto em crescimento contribui positivamente para a redução do efeito estufa e para a melhoria do microclima de certas regiões – em particular as mais áridas. Onde se planta uma floresta, as temperaturas costumam cair até 5°C.<sup>45</sup>

45 Uma zona que experimenta o fenômeno do microclima possui um clima que é diferente da região que a cerca. É relativamente comum em grandes áreas urbanizadas, bem como em grandes plantações. No caso das áreas urbanas, a reflexibilidade do concreto e sua capacidade de absorver e reter calor fazem com que as temperaturas sejam até 6°C mais altas que a de bairros periféricos, mais arborizados. Já em florestas, além da maior umidade, observa-se redução de até 5°C.

O corte e a utilização da madeira para a produção de carvão vegetal, por sua vez, devolvem grande quantidade de gás carbônico para a atmosfera. Estima-se que cada tonelada de madeira de eucalipto sequestre e fixe, aproximadamente, 1,6 tonelada de CO<sub>2</sub> ao longo de seu processo de formação.<sup>46</sup>

### A produção de carvão: impactos ambientais do processo de pirólise

A pirólise, ou desumidificação e queima da madeira, é um processo físico simples no qual, de um lado, entra madeira contendo celulose, hemicelulose, lignina e 20% a 30% de água, e de outro lado sai vapor d'água, gás carbônico, metano e até 80% de carbono fixado sob a forma sólida: **o carvão vegetal, além de alcatrão e líquido pirolenhoso** (formados a partir da condensação de certos gases), como explicado anteriormente.<sup>47</sup>

O processo libera muito gás carbônico (dióxido e monóxido) e hidrogênio na atmosfera, consumindo madeira e, por sua vez, de modo indireto, água e nutrientes do solo. A Figura 13 ilustra o processo. Uma tonelada de madeira com menos de 30% de carbono fixado e com umidade entre 20% e 30%, após desumificada, eleva seu carbono fixado para 75% a 80%, produzindo 200 kg a 400 kg de carvão, dependendo do processo utilizado.

Os principais “resíduos sólidos” são: carvão (250 kg a 400 kg) e os “finos”. As **cinzas** também devem ser levadas em consideração. Os resíduos gasosos são: vapor d'água, gás carbônico, metano (CH<sub>4</sub>) e gases que, ao se concentrarem, ainda formam, como subprodutos: alcatrão, óleo pirolenhoso, metanol, guaiacol, siringol,<sup>48</sup> fenol etc.

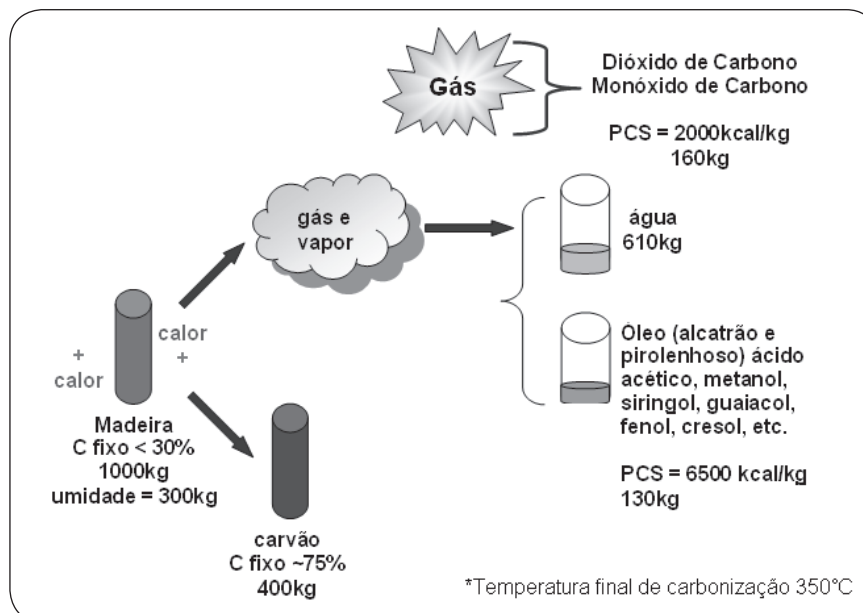
Cada tonelada de madeira utilizada na produção de carvão emite 160 kg de CO<sub>2</sub> na atmosfera. Isso significa que cada tonelada de carvão emite, em média, no Brasil, cerca de 1.050 kg de gás carbônico, e cada tonelada de ferro-gusa emite 1.300 kg aproximadamente. Se esse carvão for oriundo de matas nativas, a emissão é ainda maior. No caso do carvão feito com floresta plantada, há que se computar o sequestro de carbono realizado por florestas de eucalipto durante sete anos de crescimento, (ao redor de 46 toneladas por hectare) [Vital (2007)].

46 Para análise mais técnica e aprofundada acerca dos impactos ambientais de florestas de eucalipto, ver Vital (2007).

47 A queima da madeira na pirólise para a produção do carvão vegetal em conjunto com a queima do carvão com a hematita (óxido ferroso) para a produção do ferro-gusa são etapas do processo de produção do aço em que há maior emissão de dióxido de carbono.

48 O siringol é um combustível cujo ponto de combustão ocorre a 140°C.

Figura 13 | Esquema gráfico para o entendimento do processo de carvoejamento



Fonte: Carazza (2007). Elaboração própria

Mas existe ainda a emissão de cerca de 50 kg de metano para cada tonelada de carvão vegetal produzida, sendo, portanto, um dos principais danos ambientais causados pela indústria de carvão vegetal para a atmosfera, pois sabe-se que o metano é 21 vezes mais poluente do que o  $\text{CO}_2$ . Vale lembrar que o metano não é capturado na fotossíntese, sendo necessárias outras formas de reparação.

A emissão de  $\text{CO}_2$  e metano, por sua vez, depende fundamentalmente da tecnologia empregada. Destarte, melhorias ambientais no elo de produção de carvão requerem o aumento do plantio e do replantio e a modernização dos fornos.

Ademais, as condições trabalhistas são muito impróprias sob as tecnologias rudimentares utilizadas tanto no Quadrilátero Ferrífero como em Carajás e se tornam satisfatórias à medida que a tecnologia utilizada melhora.

**Tabela 9 | Insumos, produtos e resíduos na produção de carvão vegetal**

<b>Produto e resíduos gerados</b>			
Madeira	1 tonelada	Carvão	200-400 kg com até 80%
Energia		Finos	Até 180 kg
Água	800-1.200 mm/ano	Água	610 kg
CO <sub>2</sub>	<30% de carbono fixado	CO <sub>2</sub>	160 kg

Fonte: Elaboração própria

De acordo com Silva (2007), a rota via coque libera 1,65 tonelada de CO<sub>2</sub> e fixa 1,53 tonelada de O<sub>2</sub> por tonelada de aço produzida, ao passo que a rota via carvão vegetal sequestra 16,33 toneladas de CO<sub>2</sub> e regenera 1,53 tonelada de O<sub>2</sub> por tonelada de aço produzida. Em adição, diz Silva, a rota que utiliza o coque libera 7 kg de óxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) – praticamente ausente na rota via carvão vegetal.

A etapa subsequente na cadeia produtiva do aço – a fabricação do ferro-gusa – também possui impactos ambientais relevantes, mas fora do escopo deste estudo. O principal dejetos do projeto são as escórias, metais indesejáveis na composição do aço e que devem ser retirados do ferro antes do processo de oxigenação LD feito posteriormente para evitar, entre outras coisas, a oxidação do aço.

A jusante, tem-se o setor siderúrgico, responsável por 26% do total de consumo de energia da indústria e 13% do total consumido no País, em 2007 [BEN (2008)].

De acordo com Lenz e Silva (2007),

Os processos siderúrgicos emitem grande quantidade de gás carbônico, principalmente quando a matriz energética utiliza coque, um recurso natural não renovável, ao invés de carvão vegetal. A utilização do carvão vegetal hoje no Brasil está mais restrita aos pequenos fabricantes de gusa (produção 60 a 300 t/dia).<sup>49</sup>

#### *Emissão de CO<sub>2</sub>*

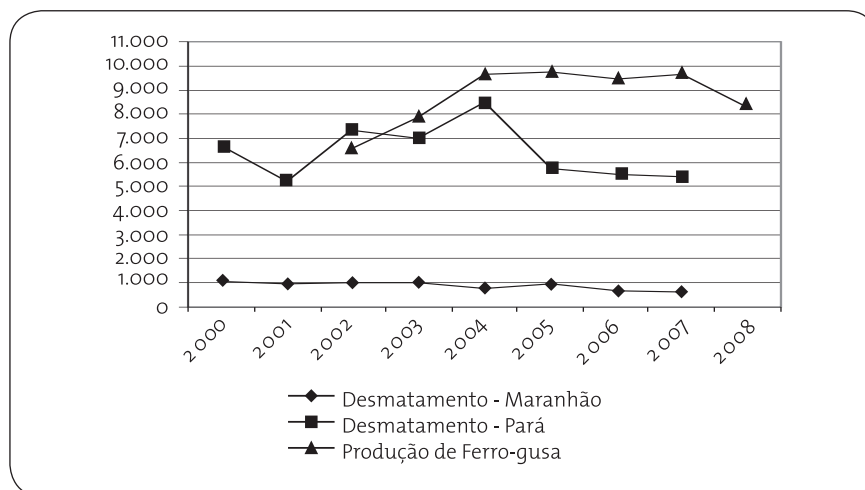
A emissão de gases que contribuem para o efeito estufa, como o CO<sub>2</sub>, depende do tipo e da quantidade de combustível utilizado, bem como da eficiência energética do equipamento/forno.

49 As impurezas mais nocivas contidas nas matérias-primas e resultantes dejetos do processo produtivo são: 1) mais nocivas: Cu, As, Sb, Ni ; 2) nocivas: P e ZN ; 3) impurezas menos nocivas: I, Ti, Nb, Cr, V, i, Mn, C.

Segundo informado no Anuário do ano passado, o setor metalúrgico contribuiu com aproximadamente 25% da emissão brasileira de 300 Mt<sup>50</sup> de CO<sub>2</sub>, com os dados de 2005: 63,8 Mt para o segmento de ferro-gusa e aço; 3,9 Mt para o de ferroligas; e 8,1 Mt para o de não ferrosos [IBS (2009)].

Por fim, a relação entre a exportação de ferro-gusa e o desmatamento é bastante aderente, sugerindo que o ferro-gusa é vetor não desprezível para o desmatamento no estado do Pará. De fato, contas não expostas neste estudo indicam que um quarto do desmatamento é oriundo dessa atividade econômica.

**Gráfico 6 | Produção de ferro-gusa como vetor não desprezível para o desmatamento no Pará**



Fonte: Inpe/Sindifer

## Sustentabilidade na produção de ferro-gusa a carvão vegetal no Brasil

Na presente parte, procurar-se-á estimar o esforço que deve ser empreendido pelo setor siderúrgico brasileiro, à base de carvão vegetal, para redução do desmatamento no Brasil nos próximos anos. Tal esforço será dimensionado em termos de área plantada (hectares) de espécies exóticas necessária para se substituir completamente o componente de madeira nativa empregado na produção de carvão vegetal, oriundo de floresta tropical, por produtores independentes.

<sup>50</sup> Megaton = 10<sup>9</sup> toneladas.

Ademais, discute-se a aplicabilidade dos conceitos de desenvolvimento sustentável na indústria de carvão vegetal para ferro-gusa.

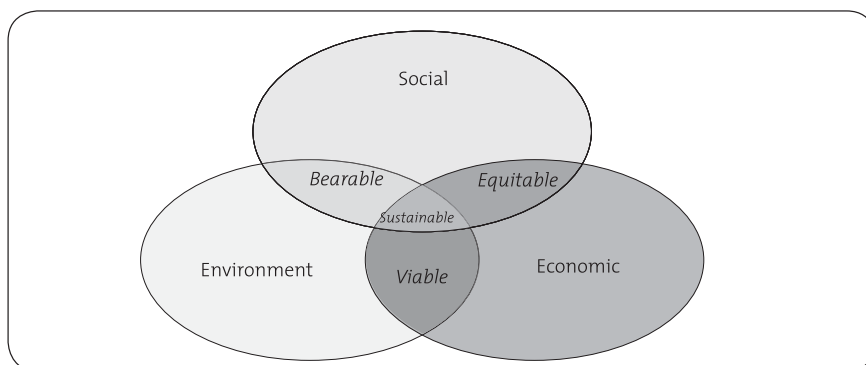
Destaca-se que, no Brasil, cerca de 60% de gusa é produzido por independentes em fornos rudimentares, com rendimentos ao redor de 250 kg por tonelada de madeira cortada *in natura*. Tecnologias desenvolvidas no País podem elevar esse coeficiente para até 400 kg por tonelada. Dessa maneira, procurar-se-á, ainda, avaliar a importância do investimento em melhoria tecnológica sobre a redução relativa da área plantada de florestas no futuro.

Finalmente, serão discutidas as implicações da alternativa de política de compensações avaliada no presente trabalho sob a ótica da sustentabilidade do modelo proposto, incluindo-se: **(i)** impactos da intervenção proposta sobre os diferentes biomas via mecanismos de mercado; e **(ii)** adequação do modelo de crescimento irrestrito da capacidade instalada siderúrgica no País. Isso significa, de fato, avaliar a questão tanto pela ótica dos economistas ambientais como sob a lógica dos economistas ecológicos, escolas distintas dentro do pensamento econômico contemporâneo.

### Sustentabilidade

Em termos simples, sustentabilidade é o uso presente de recursos de forma a não comprometer o consumo de gerações futuras. O número de gerações pode ser finito ou infinito, dependendo do tipo de modelagem e/ou instrumental matemático e horizonte de planejamento que se pretende definir.<sup>51</sup>

Figura 14 | Desenvolvimento sustentável



Fonte: Wikipédia

<sup>51</sup> Vale lembrar a célebre frase de J. Maynard Keynes: “No longo prazo, todos estaremos mortos”, ressaltando a importância e premência de que certas ações sejam tomadas no curto prazo.



Entretanto, como em todas as ciências, especialmente a econômica, os pensamentos se dividem em correntes. Em economia ambiental, existe a corrente daqueles que fazem uso do ortodoxo instrumental neoclássico: preferências, retornos marginais decrescentes no curto prazo, oferta e demanda, bem-estar, falhas de mercado, externalidades, preços hedônicos, disposição a pagar etc. Outra corrente, denominada economia ecológica (ECOECO), propõe, além da aplicação da segunda lei da termodinâmica à economia (o denominado princípio de entropia), também que os estudos sejam multidisciplinares.<sup>52</sup>

#### *Ortodoxia: a teoria neoclássica aplicada aos problemas ambientais*

Dentro do arcabouço teórico neoclássico, vale ressaltar, ainda, conceitos como bens públicos, externalidades, não rivalidades, não exclusividade, excedente do consumidor, curva de bem-estar social (Rawls, Coase, Pigou), imposto de Pigou etc. como aplicáveis em diversas situações relacionadas ao meio ambiente. Externalidades negativas da poluição e dos custos sociais que um número maior de pessoas com problemas pulmonares causam à sociedade são exemplos da aplicação de conceitos neoclássicos à análise de impactos ambientais.

A economia tradicional ocupa-se, pois, de corrigir falhas de mercados dos ativos ambientais ou, ainda, de auxiliar na própria criação de um mercado, até então, inexistente. Muitos esforços concentram-se em desenvolvimentos tecnológicos capazes de substituir insumos não renováveis por insumos renováveis.

A indústria siderúrgica brasileira produz 35 milhões de toneladas de ferro-gusa e detém 1,7 milhão de hectares de eucaliptos plantados.<sup>53</sup>

Como parte do arcabouço neoclássico, existe a hipótese da existência de uma curva ambiental de Kuznets. Assim denominada em ode ao economista

52 Por vezes, a discussão parece vã, posto que a Física já demonstrou, **antes** dos economistas, que crescimento sustentável é uma contradição **em termos** e uma impossibilidade física para o planeta Terra como sistema aberto, termodinâmico, e sofrendo efeitos de atividades antrópicas. Em resumo, o planeta não possui condições de democratizar a riqueza. Não há recursos suficientes para que todos os seres humanos vivam com os mesmos níveis de renda *per capita* de países desenvolvidos.

53 Vale notar que, com dados simples, como os expostos nesta seção, esse nível de plantio e essas taxas de reflorestamento são insuficientes para manter a sustentabilidade da produção de ferro-gusa nos próximos dez anos, ameaçando a Floresta Amazônica, o Pantanal, restos do Cerrado brasileiro e até mesmo a Mata Atlântica – tanto no caso do extrativismo ilegal como por projetos silviculturais implantados na orla do Espírito Santo, na divisa com o sul da Bahia. O impacto paisagístico é visível, e o impacto sobre a biodiversidade inquestionável, se a floresta for plantada onde anteriormente encontrava-se mata nativa.

ucraniano Simon Smith Kuznets, essa curva correlaciona a desigualdade na distribuição de renda ao nível de renda *per capita* dos países.<sup>54</sup> De acordo com a tese de Kuznets, durante certo período de tempo, o nível de desigualdade se elevaria com o aumento da renda *per capita*, atingindo um ponto máximo e declinando a partir daí. Num sistema cartesiano, colocando-se o nível de renda *per capita* no eixo das abscissas e algum índice de desigualdade no eixo das ordenadas, a curva de Kuznets teria o formato de uma parábola côncava ou a forma de um “U” invertido.<sup>55</sup>

A curva ambiental de Kuznets sustenta a hipótese de que o nível de degradação ambiental aumenta com o crescimento do PIB até certo ponto, a partir do qual – por questões educacionais, cívicas e tecnológicas – o nível de degradação ambiental começaria a ser reduzido.

#### *A ECOECO – economia ecológica*

Já a corrente conhecida como economia ecológica propõe maior multidisciplinaridade ao tratamento econômico do meio ambiente, posto que os ecossistemas sociais se inter-relacionam e que as decisões econômicas induzem movimento ao sistema (gerando, pela incorporação do princípio da entropia, uma perda de energia do sistema). A terapêutica para a degradação ambiental seria, pois, uma mudança geral no comportamento das sociedades de consumo de massa e na velocidade de inovação (que traz consigo menores ciclos de vida para os novos produtos). Alguns, como Daly (2009), chegam a sugerir uma taxa de crescimento nula, considerando o desenvolvimento sustentável uma impossibilidade física.

Nesse caso, uma técnica comumente empregada é o valor de uso de um dado ativo ou serviço ambiental seria dado por seu Valor de Uso Direto (VUD)<sup>56</sup> [Motta (2006)].

Sob a hipótese de preservação da espécie e continuação da história da civilização humana, sustentabilidade significa a suficiência de matérias-pri-

54 Para Kuznets, o nível de renda *per capita* crítico, a partir do qual a desigualdade de renda começaria a ser reduzida, seria ao redor de US\$ 20 mil/ano.

55 De acordo com Kuznets, a elevação da renda *per capita* dos países geraria uma conscientização coletiva que levaria à alteração no modo de organização das sociedades modernas – que, atualmente, têm as inovações capitalistas como mola propulsora do sistema econômico (em acordo com J. Schumpeter) – e o consumo de massa de bens com ciclos de vida cada vez mais curtos.

56 Valor de Uso Direto do ativo/serviço ambiental. Valor de um banho de cachoeira, de se extrair uma fruta, de se apreciar uma paisagem, de usufruir de um banho de mar etc.

mas ao longo do tempo para a fabricação de bens e a prestação de serviços consumidos na moderna sociedade capitalista. O nível de consumo presente compromete, portanto, seu uso futuro (sobretudo de recursos não renováveis como minério de ferro, carvão mineral, petróleo etc.). Fica explícito um *trade-off* (e a partir daí uma disputa intergeracional) entre o nível de bem-estar presente e futuro que uma dada sociedade pretende atingir e ser capaz de sustentar.

De acordo com Daly (1989), crescimento sustentável é um oxímoro, ou seja, uma contradição em termos. Crescer significa aumentar de tamanho, enquanto desenvolver significa mudar de forma, evoluir, diferenciar. De acordo com o autor, o ecossistema terrestre, como sistema aberto, com subsistema econômico em expansão, está fadado à exaustão de seus recursos. O mundo não comportaria que todo o planeta tivesse a renda *per capita* que possui a economia norte-americana, por exemplo, o que significaria multiplicar o PIB atual por um fator entre 10 e 14. O planeta Terra suportaria expansão máxima com fator 4. O que o autor quer dizer é que, assim como não é possível viajar na velocidade da luz, nem destruir matéria, nem criar máquina que trabalhe em movimento constante infinitamente, o crescimento sustentado é uma impossibilidade física a qual os economistas necessitam compreender. Se o PIB não pode crescer indefinidamente, então, quanto e por quanto tempo ele poderia continuar em crescimento?

#### *O conceito de sustentabilidade na indústria de carvão vegetal para fabricação de ferro-gusa*

Sob a ótica ortodoxa, sustentabilidade na produção de carvão vegetal para fabricação de ferro-gusa significaria, portanto, a garantia de terras suficientes para a expansão da base de florestas plantadas no País, ou, alternativamente, o replantio das matas nativas (ou, ainda, o manejo sustentado).

Por quanto tempo durariam as reservas minerais brasileiras se as atuais taxas de crescimento fossem mantidas? Qual a oferta de madeira e de terras necessária para suprir a demanda futura por carvão para ferro-gusa?

Sob a ótica do insumo não renovável – minério de ferro –, simulando o crescimento da produção de ferro-gusa entre 3%, 5% e 7% a.a., as reservas minerais brasileiras durariam, de acordo com cada taxa suposta, 130, 90 ou 70 anos, respectivamente. Aplicando-se a taxa utilizada como cenário base para este estudo de caso, para o crescimento da produção de ferro-gusa

(7,7% a.a – arredondada para baixo, para 5% a.a, por conservadorismo), as reservas minerais brasileiras se esgotariam no ano de 2100.<sup>57</sup>

Certamente, a produção de ferro-gusa a carvão vegetal causa impactos menores no meio ambiente do que a siderurgia a coque, que utiliza insumo não renovável. Mas as condições para tanto são que não haja extrativismo vegetal para fabricação de carvão, mas tão somente florestas plantadas com tal finalidade ou que o extrativismo seja conduzido com técnicas de manejo sustentável, com rotação de espécies ou reposição integral (somada à taxa esperada de crescimento da demanda futura pelo insumo madeira) da floresta.

Sob a ótica ortodoxa, a preservação do bioma amazônico, por exemplo, poderia ser solucionada de dois modos: 1) desestímulos à exportação de ferro-gusa a carvão vegetal (que no fim das contas significa exportar madeira ou floresta); ou 2) mudança no padrão de consumo dos bens finais à base de aço e gusa, como automóveis e grandes edifícios de estrutura metálica – os grandes demandantes de aço. A primeira opção é facilmente aplicável no curto prazo e deixa explícito o *trade-off* entre crescimento econômico e preservação dos recursos naturais. A segunda requer iniciativa educacional e alterações na estrutura produtiva (na matriz de Leontief) que demandarão longo período.

O modelo de simulação a seguir baseia-se na hipótese de que nem a sociedade irá transformar-se rápida e profundamente, num curto prazo, nem o Brasil estaria disposto a reduzir seus saldos comerciais e sua taxa de crescimento do PIB, com os quais as exportações de diversos produtos de madeira (celulose, chapas, serrados, gusa, aço, entre outros) em muito contribuem.

Então, afinal, o que significa uma produção sustentável de carvão vegetal para fabricação de ferro-gusa no contexto brasileiro? Aquela que permita que os níveis de produção possam ser suportados pelo natural crescimento populacional da humanidade, que irá consumir mais veículos, construir mais arranha-céus como sinais de grandeza e desenvolvimento? Ser capaz de evitar as fúnebres profecias malthusianas? Quantas gerações considerar?

---

<sup>57</sup> Vale notar que uma extrapolação feita em prazo tão logo merece as seguintes ressalvas que podem invalidá-la: os produtos finais, hoje à base de gusa e aço, podem, no futuro, ser produzidos com base em outros materiais, reduzindo a taxa de crescimento da produção nacional de gusa. Em resumo, em termos técnicos, alterações na matriz Insumo Produto podem invalidar os resultados dessa extrapolação.

### Um modelo aritmético simples

Seja  $Q$  a quantidade total de um insumo renovável ‘madeira’ necessária à produção de uma quantidade  $CV_t = f(Q_t)$  de um produto  $CV_t$ , em que  $t$  significa um dado ano ou momento no tempo e  $CV$  é o produto carvão vegetal. Seja ainda FeG (ferro-gusa) um produto da função  $f(M_t, CV_t)$ , em que  $M$  é minério de ferro. Sob o caso de tecnologias de proporções fixas, como o presente, elevações na produção de ferro-gusa irão provocar elevações diretamente proporcionais ( $CV_t = 0,70 * G_t$ , em que  $CV_t$  é a quantidade de carvão vegetal e  $G_t$ , a de ferro-gusa, ambas no momento  $t$ ) na quantidade de carvão vegetal produzida. Por sua vez, cada tonelada de carvão vegetal requer quatro toneladas de madeira ( $M_t = 4 * CV_t$ ), e cada hectare de terra é capaz de produzir, em média, 15 toneladas de madeira ( $Ha_t = 15 * Q_t$ ).

Tais relações deixam claro que evoluções tecnológicas que alterassem a produtividade do carvoejamento ou do crescimento da floresta reduziriam a necessidade de área plantada (e/ou desmatada) para a produção do ferro-gusa.

Qual a taxa ótima de reposição do insumo renovável para que não falte carvão vegetal para as gerações futuras? No caso de reflorestamento, há ainda que se perguntar: com qual espécie? Exótica ou nativa? Qual a melhor relação custo/benefício social? Um programa maciço de reflorestamento pode gerar pressões sobre a terra, alterando o preço dos alimentos? Essas questões serão respondidas na próxima seção.

### Condições para a sustentabilidade na produção de ferro-gusa a carvão vegetal: um modelo para determinação da necessidade de plantio de florestas para atender à demanda futura de madeira para carvão vegetal para ferro-gusa

Como dito, aumentos na fabricação de gusa geram aumentos diretamente proporcionais na demanda por suas matérias-primas.

Com base em projeções de produção de ferro-gusa e nas relações técnicas de produção, foi possível estimar a área total necessária de florestas para atender integralmente à demanda por carvão vegetal, evitando o desmatamento oriundo dessa fonte.

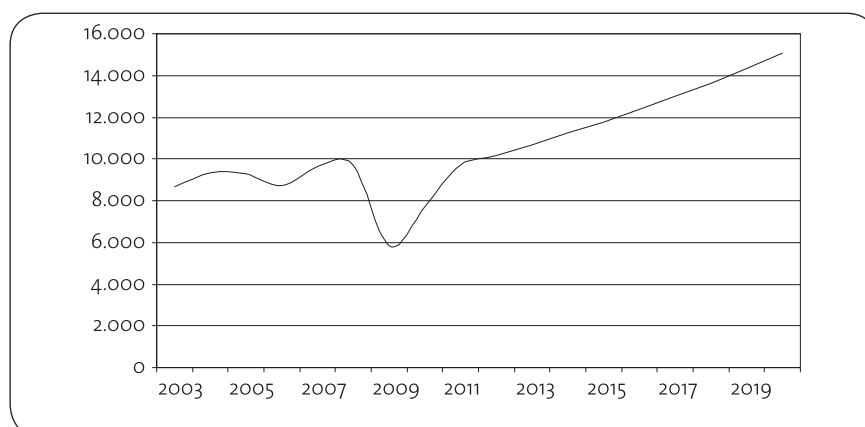
Dada a estratégia de produção de aço no País, o crescimento dessa produção nos próximos anos dependerá fundamentalmente do comportamento da demanda internacional, do preço das *commodities* e da taxa de câmbio.

Assume-se para o caso-base queda acentuada, no ano de 2009, na produção de ferro-gusa por produtores independentes, com retomada dos níveis anteriormente experimentados na produção apenas em 2010, com crescimento a partir daí em 5% ao ano até o ano horizonte (ver Gráfico 7).

Para a conversão entre carvão e gusa foram levadas em consideração proporções fixas de 750 medidas de carvão para cada 1.000 medidas de ferro-gusa. Essa relação responde ao balanço de massa realizado no processo de consumo do carvão vegetal para fins siderúrgicos.

Para a conversão entre carvão e madeira considerou-se, para o caso-base, a média ponderada entre as produtividades obtidas com tecnologias rudimentares (65% do total) e técnicas mais adequadas, capazes de atingir taxas de até 400 medidas de carvão para cada 1.000 medidas de madeira *in natura* (em “rabos-quentes”, tecnologia rudimentar, a taxa é de cerca de 250 para cada 1.000).

**Gráfico 7 | Estimativa de crescimento na produção de ferro-gusa no caso-base (mil toneladas)**



Fonte: Elaboração própria

Finalmente, foram consideradas, no caso-base, taxas de conversão entre madeira e área plantada tomando-se a produtividade média de 19 toneladas por hectare.

Cabe ressaltar que a área plantada estimada deve permitir fluxo de manejo e corte correspondente aos ciclos de sete anos correntemente praticados no manejo de *Eucalyptus spp.*

*Resultados no caso-base*

Os resultados obtidos não levam em consideração o montante de área plantada atualmente disponível para a indústria siderúrgica, tampouco aproveitamentos de madeira em áreas nativas com manejo florestal. Portanto, refletem o esforço absoluto a ser realizado pelo setor siderúrgico nos próximos anos. Os resultados em termos de áreas plantadas podem ser examinados na Tabela 10.

**Tabela 10 | Necessidade de área plantada para redução do desmatamento para produção de ferro-gusa no Brasil**  
(mil hectares)

Anos	Hectares Necessários (por ano)
2003	1.369
2004	1.477
2005	1.468
2006	1.379
2007	1.520
2008	1.317
2009	790
2010	1.054
2015	1.601
2020	2.043

Fonte: Elaboração própria

Como se pode perceber, estima-se incremento de aproximadamente 55% da área plantada até 2020 com base nas necessidades previstas em 2008. Dado que em 2008 a área plantada com essa finalidade era calculada em 1,7 milhão de hectares, prevê-se um esforço significativo para se diminuir o desmatamento de florestas nativas nos próximos dois a três anos.

*Simulações*

Foram supostos três casos:

- 1) elevação no rendimento da madeira para 400 kg de carvão por tonelada de madeira entre os anos de 2009 e 2010;

- 2) elevação da produtividade da floresta, supondo IMA<sup>58</sup> passando de 19 para 60 (empresas de celulose no sul da Bahia); e
- 3) elevação conjunta de ambos os fatores.

***Caso 1: Melhoramentos na tecnologia empregada na conversão madeira/carvão.***

Caso se considere o esforço conjugado de substituição das técnicas rudimentares (“rabo-quente”) por técnicas mais avançadas integralmente no biênio 2009-2010, obtêm-se os resultados apresentados no Gráfico 8.

*Grosso modo*, a área plantada em 2020 seria 24% menor caso todo o parque de guseiros independentes fosse substituído por novas tecnologias de carvoejamento.

Como se pode perceber, há significativa redução relativa no requisito de áreas plantadas ao se adotar uma política de substituição de “rabos-quentes” por unidades de maior eficiência técnica para a produção de carvão por produtores independentes no Brasil.

***Caso 2: Elevação na produtividade das florestas***

Supôs-se que a produtividade das florestas de eucalipto aumentasse de 19 m<sup>3</sup>/ha/ano para 30 m<sup>3</sup>/ha/ano (florestas mais produtivas do Brasil).

O cenário considera, em primeiro lugar, que todos os carvoeiros decidam plantar florestas de eucalipto e pagar pelo uso da madeira. Isso porque apenas certas espécies de eucalipto, plantadas em regiões com características climáticas apropriadas para essas espécies, são capazes de atingir tal nível de produtividade.

Por certo, isso geraria grande competição por terras no sul da Bahia e no Espírito Santo, onde as florestas de eucalipto são mais produtivas. O impacto sobre o preço local/regional dos alimentos, oriundo da competição por terras agriculturáveis, deve, pois, ser considerado.

O efeito desse fator é quase o mesmo que o do melhoramento no carvoejamento, ao redor de 28% menos de área plantada.

---

<sup>58</sup> Incremento Médio Anual. Equivale ao volume total de madeira retirado de uma floresta dividido pela idade da floresta. É utilizado como medida de produtividade florestal. Contrasta com o ICA, Incremento Corrente Anual, que mede o crescimento marginal da floresta.

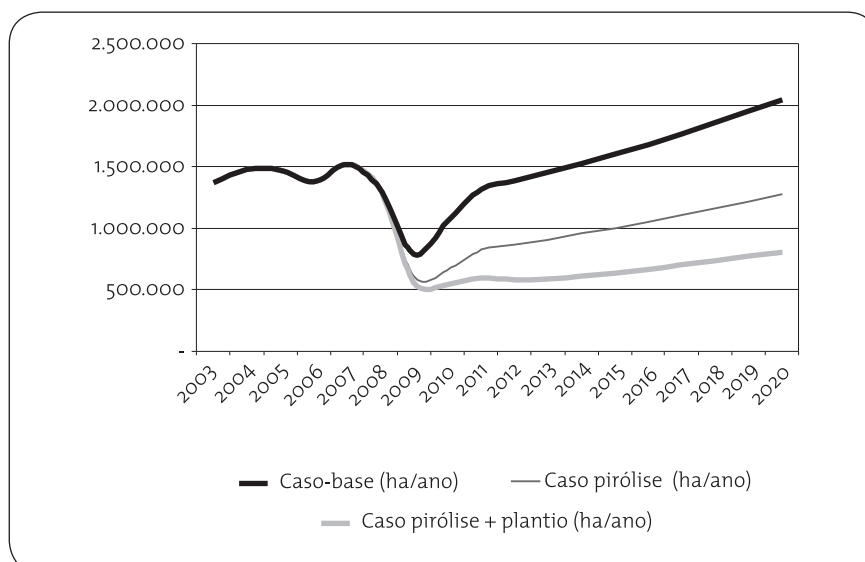


### Caso 3: Evolução conjunta da produtividade

No caso de ocorrerem ambas as evoluções, tanto na relação carvão/madeira quanto na relação madeira/terra, o impacto sobre a necessidade de área plantada para atender à demanda por ferro-gusa é extremamente significativo.

Há que se pensar, naturalmente, que a política para a sustentabilidade da produção de ferro-gusa deva contemplar um programa tanto de elevação e melhoria tecnológica do processo de pirólise quanto de elevação da produtividade das florestas plantadas nacionais.

**Gráfico 8 |** Necessidade de plantio de florestas para diminuição do desmatamento para a produção de ferro-gusa – Caso com mudança tecnológica



Fonte: Elaboração própria

### Impactos sobre biomas

A escolha da localização das florestas plantadas pode impactar em maior ou menor escala os diferentes biomas. De maneira a estimar o impacto relativo sobre cada bioma, na Tabela 11 apresenta-se a fração do bioma a ser ocupada por 100% das necessidades de plantio de florestas para fins de produção de ferro-gusa, considerando-se o caso-base.

Para que a geração futura possua condições de produzir  $X_{t+n}$  toneladas de carvão (e gusa) utilizando a quantidade de insumo renovável  $Q_{t+n}$ , é

necessário que seja reposta, a cada ano, ou ciclo produtivo, a quantidade utilizada no momento  $t$ , acrescida da quantidade esperada para o período  $t+1$ , pois, por suposto, as economias estariam em crescimento e assim também a demanda pelo insumo renovável em questão.

**Tabela 11** | Necessidade de área plantada para produção de gusa por bioma brasileiro

Bioma	Hectares	Área Plantada para Fins de Gusa	
		% bioma em 2010	% bioma em 2020
Amazônia	419.694.300	0,3	0,49
Mata Atlântica	111.018.200	0,9	1,84
Caatinga	84.445.300	1,2	2,42
Cerrado	203.644.800	0,5	1,00
Pantanal	15.835.500	6,7	12,90
Pampa	17.649.600	6,0	11,58

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do IBGE (2009)

Em todos os casos, o impacto dos programas de florestamento/reflorestamento sobre os biomas nacionais seria considerável, mais que dobrando seu percentual em todos os casos. Há, pois, que se considerar que a sustentabilidade na produção de ferro-gusa à taxa de 5% a 7% ao ano exigirá a substituição de outro bem ou serviço, pois o uso dos recursos escassos é **alternativo** (ou um ou outro).

### **Sugestões para um programa coordenado público-privado para sustentabilidade socioambiental da cadeia produtiva siderúrgica no Brasil**

As análises e observações contidas ao longo do presente estudo oferecem subsídios para o esforço público-privado coordenado, por meio das seguintes linhas mestras:

- 1) Estabelecimento de mecanismos de rastreabilidade para a produção e comercialização de insumos na cadeia produtiva siderúrgica no Brasil, em consonância com a resolução Conama 411/2009.
- 2) Estabelecimento de exigências e formas de apoio para que o produtor independente de ferro-gusa desenvolva fontes renováveis de madeira

(carvão vegetal), próprias ou de fornecedores reconhecidos, para a totalidade da produção.

- 3) Estabelecimento de impostos à exportação de ferro-gusa. Tal se justificaria como compensação pelo fato de dois terços da produção de ferro-gusa à base de florestas nativas serem exportados. Assim, o setor externo contribuirá com esforço fiscal necessário à redução do desmatamento.
- 4) Estabelecimento de critérios para ocupação de biomas com florestas plantadas que possuam rendimentos mínimos da ordem de 60 m<sup>3</sup>/ha, por ano.
- 5) Estabelecimento, nos próximos cinco anos, de critérios mínimos de produtividade de carvoejamento ao redor de 400 kg por tonelada de madeira.

### Conclusões

As constatações do estudo permitem-nos agora responder as questões previamente levantadas.

A área a ser plantada pelo setor siderúrgico para garantir que todo ferro-gusa fabricado com carvão vegetal não seja oriundo de desmatamentos precisa mais que dobrar em relação aos níveis atuais, num período de 10 anos, com efeitos muito relevantes no caso das regiões do Pampa e do Pantanal e menos importantes nas demais.

A elevação na produtividade do carvoejamento, de 250 kg/tonelada de madeira para 350 kg a 400 kg/tonelada, poderá reduzir à metade a necessidade de área plantada. A elevação conjunta da produtividade do carvão e das florestas reduz a menos de 50% do que seria necessário aos níveis vigentes.

Há terras propícias ao florestamento/reflorestamento em todos os biomas, porém as de maior produtividade, no caso da cultura de eucalipto, são as do sul da Bahia e do Espírito Santo. No caso dos biomas do Pampa e do Pantanal, cuja elevada percentagem seria ocupada pelos novos plantios, os florestamentos/reflorestamentos disputarão as terras com outras culturas.

As áreas a serem plantadas com espécies exóticas ou nativas não são muito extensas em relação às terras agricultáveis, mas podem ser relevantes no caso dos biomas do Pampa e do Pantanal.

Os florestamentos/reflorestamentos não possuem as variedades animais e vegetais das florestas nativas, mas ensejam o florescimento de flora e fauna, enriquecendo a área refeita, uma vez degradada.

A demanda por água, no caso das plantações de eucalipto, não é maior que a de outros cultivos nacionais, tampouco mais que a da Mata Atlântica ou da Floresta Amazônica, adaptando-se em regiões com até 400 mm de chuvas por ano, ou seja, regiões semiáridas. Níveis de precipitação entre 800 mm a 1.200 mm, entretanto, propiciam volume de água necessário aos plantios mais produtivos.

A ampliação das áreas plantadas, seja com eucalipto ou variedades nativas, irá sequestrar quantidades adicionais de carbono, reduzindo o efeito estufa e colaborando para a melhoria do microclima de certas regiões, em particular daquelas mais áridas. Estima-se que cada tonelada de madeira de eucalipto sequestre e fixe, aproximadamente, 1,6 tonelada de CO<sub>2</sub> ao longo de seu processo de formação. Há, portanto, espaço para que o Brasil se torne um hospedeiro de projetos de MDL (Mecanismo de Desenvolvimento Limpo).

A demanda por terras agricultáveis para o plantio de espécies exóticas ou nativas, tudo o mais mantido constante, aumentará o preço da terra, mormente daquelas mais produtivas (sul da Bahia e Espírito Santo, no caso de eucalipto).

Os efeitos sobre o nível de emprego não são claramente definíveis, pois dependerão da forma dos novos cultivos: se intensivos e mecanizados, nas áreas já exploradas, ou extensivos e manuais, em novas áreas. De qualquer modo, o aumento da área cultivada terá, pelo menos, efeitos positivos sobre os empregos indiretos.

O programa de florestamento/reflorestamento, embora possa criar condições de sustentabilidade para a produção de carvão e gusa, não garante, infelizmente, o fim dos desmatamentos. Haverá, ainda, a demanda por madeira nativa para outros fins, e a fiscalização e as penas concomitantes deverão ser os fatores de contenção dos crimes contra o meio ambiente.

### Referências bibliográficas

ARRAES, R.A; DINIZ, M.B., DINIZ, M.J. **A curva ambiental de Kuznets e desenvolvimento econômico sustentável**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS – ABRAF. **Anuário estatístico 2009**, São Paulo, 2009.

BRITO, J.A. **O uso energético da madeira**. Rio de Janeiro: INEE, 2008.

BRITO, J.O. **Carvão vegetal no Brasil: gestões financeiras e ambientais**. Rio de Janeiro: INEE, 2008.

DALY, H. E. Crescimento sustentável? Não, obrigado. **Points of View**, Washington, 1989.

FERREIRA, G. E. **A indústria brasileira de gusa de mercado**. Rio de Janeiro, 2006.

G. LOYOLA, R. LOYOLA. **A economia ambiental e a economia ecológica: uma discussão teórica**. Rio de Janeiro: COPPE – UFRJ, 2006.

GOMES FARIA, C.E. Mineração e meio ambiente. **Relatório CGEE**. PNUD, Brasília, 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE SIDERURGIA – IBS. **Anuário estatístico 2008**, Rio de Janeiro, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE – IBAMA. Diagnóstico de setor siderúrgico nos estados do Pará e do Maranhão. **Relatório técnico**. Brasília, 2006.

INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA – INEE. **Política para madeira energética**. Rio de Janeiro, 2006.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Key Statistics 2008**. Paris, 2009.

LAMOSO, L.P. **A exploração de minério de ferro no Brasil e no Mato Grosso do Sul**. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

LENZ E SILVA, G. F. B. Siderurgia e meio ambiente. In: **Introdução à siderurgia**. São Paulo: ABM, 2007.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME. **Balanço energético nacional 2008**. Brasília, 2008.

MOURÃO, M.B.; GENTILE, E. Histórico dos processos de obtenção de ferro e aço. In: **Introdução à Siderurgia**. São Paulo: ABM, 2007.

ROUSSET. **Les Chemp des Reserche**. Belém: SINDIFERPA, 2007.

TORRES, E.; PUGA, F. P.; BORÇA Jr. G. R.; NASCIMENTO, M. M., Perspectivas de investimentos 2009/12 em um contexto de crise. **Visão do Desenvolvimento**, BNDES, Rio de Janeiro, n. 60, fev 2009.

VITAL, M.H.F. Florestas independentes no Brasil. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 29, mar 2009.

VITAL, M.H.F. Impactos ambientais de florestas de eucalipto. **Revista do BNDES**, Rio de Janeiro, n. 28, 2007.